

ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA FRESADORA MFG DE 3  
EJES DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA UNIVERSIDAD EAFIT

ALEXANDER SÁNCHEZ AGREDO

MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
2012

ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA FRESADORA MFG DE 3  
EJES DEL LABORATORIO DE MECATRÓNICA UNIVERSIDAD EAFIT

ALEXANDER SANCHEZ AGREDO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Asesor: JOHN ALBERTO BETANCUR MAYA

MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
2012

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	10
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	13
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
2.2.1 Objetivo 1.....	12
2.2.2 Objetivo 2.....	12
2.2.3 Objetivo 3.....	12
2.2.4 Objetivo 4.....	12
3. ESTADO DEL ARTE .....	15
3.1 FRESADORAS CNC.....	15
3.2 FRESADORA CNC DE 3 EJES .....	16
3.3 VERIFICACIÓN Y PUESTA A PUNTO .....	16
3.4 COMPRA DE UNA FRESADORA CNC .....	17
3.5 PROCESO DE FRESADO .....	19
3.5.1 Condiciones de corte.....	19
3.5.2 Fluidos para corte.....	20
3.5.3 Dispositivos de amarre y sujeción .....	21
4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD .....	23
4.1 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD .....	23
5. DESCRIPCIÓN DE LA FRESADORA MFG .....	26
5.1 CONVENCION DE EJES PARA LA FRESADORA MFG .....	29
5.2 MATERIALES DE TRABAJO EN LA FRESADORA MFG .....	30

5.2.1	Cálculo de las RPM de una fresa .....	32
5.2.2	Cálculo del avance .....	33
5.2.3	Maquinabilidad de los materiales .....	33
5.3	SUBSISTEMA DE SOPORTE Y POSICIONAMIENTO.....	35
5.3.1	Estructura o chasis .....	35
5.3.2	Guías lineales de desplazamiento.....	35
5.3.3	Amarre y sujeción de la pieza .....	36
5.3.4	Amarre y sujeción de la herramienta.....	37
5.3.5	Husillos de bolas .....	40
5.3.6	Motor del husillo .....	41
5.3.7	Servomotores .....	42
5.4	SUBSISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	44
5.4.1	Motobomba .....	44
5.4.2	Tanque almacenamiento refrigerante.....	45
5.4.3	Malla filtro para refrigerante.....	45
5.5	SUBSISTEMA DE SEGURIDAD .....	46
5.5.1	Guarda motor husillo .....	46
5.5.2	Sensores home, apertura de puerta y de final de carrera .....	46
5.5.3	Puerta.....	47
5.6	SUBSISTEMA DE CONTROL.....	48
5.6.1	Software .....	48
5.6.2	Tarjeta de control G REX 100 .....	50
5.6.3	Controladores (drivers).....	51
5.7	SUBSISTEMA ELECTRICO.....	51

5.7.1	Conexión principal.....	51
5.8	VARIABLES METROLÓGICAS A CONTROLAR PARA CADA SUBSISTEMA.....	52
6.	PROVEEDORES DE MANTENIMIENTO Y RECAMBIOS.....	55
6.1	MANTENIMIENTO ACTUAL APLICADO A LA FRESADORA MFG .....	60
6.2	REPARACIONES MÁS FRECUENTES EN FRESADORAS CNC.....	60
6.2.1	Reparaciones en la fresadora MFG .....	61
6.3	LUBRICACIÓN ADECUADA PARA FRESADORA MFG .....	64
6.4	REPUESTOS COMERCIALES .....	67
7.	ANÁLISIS DE FALLAS, AJUSTES Y PUESTA A PUNTO .....	69
7.1	ÁRBOL DE FALLA .....	69
7.1.1	Fallas comunes en el subsistema de refrigeración.....	70
7.1.2	Fallas comunes en el subsistema de seguridad.....	73
7.1.3	Fallas comunes en el subsistema de soporte y posicionamiento .....	75
7.1.4	Fallas comunes en el subsistema de control.....	78
7.1.5	Fallas comunes en el subsistema eléctrico .....	79
7.2	AJUSTES VERIFICACIÓN Y PUESTA A PUNTO .....	80
7.2.1	AJUSTES .....	81
7.2.2	VERIFICACIÓN DE UNA FRESADORA .....	81
7.2.3	PUESTA A PUNTO DE UNA FRESADORA .....	86
8.	FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO.....	88
9.	CONCLUSIONES .....	95
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	97

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Construcción fresadora MFG.....	14
Ilustración 2. Fresadora MFG .....	16
Ilustración 3. Tipos de Fresado.....	19
Ilustración 4. Dispositivo de Sujeción.....	22
Ilustración 5. Listado de partes frontal .....	27
Ilustración 6. Listado de partes posterior .....	28
Ilustración 7. Convención de ejes .....	29
Ilustración 8. Desplazamientos de ejes en la fresadora.....	30
Ilustración 9. Guías lineales de desplazamiento .....	36
Ilustración 10. Sujeción por mordazas paralelas.....	36
Ilustración 11. Alineamiento de mordaza .....	37
Ilustración 12. Sistema de amarre de la herramienta.....	38
Ilustración 13. Norma ISO DIN 2080.....	39
Ilustración 14. Mecanismo de activación cambio de herramienta .....	40
Ilustración 15. Sistema de transmisión .....	41
Ilustración 16. Motobomba del subsistema de refrigeración .....	44
Ilustración 17. Malla filtro subsistema de refrigeración .....	45
Ilustración 18. Sensor de apertura de puerta .....	47
Ilustración 19. Conector principal.....	52
Ilustración 20. Oficinas de Rexcotools en Eafit .....	57
Ilustración 21. Mantenimiento correctivo a torno CNC realizado por Rexcotools...	59
Ilustración 22. Bobina izquierda sin resistencia (bobina defectuosa).....	62
Ilustración 23. Medición de resistencia eléctrica a bobina derecha (nueva) .....	62
Ilustración 24. Falla en tarjeta controladora del sentido de movimiento.....	63
Ilustración 25. Línea de automatización industrial MISUMI .....	68
Ilustración 26. Árbol de fallas fresadora MFG .....	69

Ilustración 27. Mangueras obstruidas en subsistema de refrigeración .....	70
Ilustración 28. Ausencia de empaque en puerta .....	71
Ilustración 29. Sensores expuestos .....	74
Ilustración 30. Mecanismo de apertura de puerta .....	75
Ilustración 31. Transmisión por correa del husillo .....	76
Ilustración 32. Cambio de bobina contactor principal.....	79
Ilustración 33. Procedimiento de verificación de planitud de la mesa .....	83
Ilustración 34. Placas rectificadas auxiliares.....	84

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores que influyen en la compra de una fresadora CNC .....	18
Tabla 2. Factores que influyen sobre el proceso de corte .....	20
Tabla 3. Precauciones mínimas de seguridad .....	23
Tabla 4. Características principales fresadora MFG .....	26
Tabla 5. Especificaciones de mecanizado del poliuretano.....	31
Tabla 6. Velocidades de corte para fresar aceros blandos y aluminio .....	31
Tabla 7. Valores óptimos de avance por diente (APD) .....	32
Tabla 8. Características principales motor husillo.....	42
Tabla 9. Características principales servomotores según ejes .....	43
Tabla 10. Características principales motobomba Pedrollo .....	44
Tabla 11. Proveedores de software para control CNC.....	49
Tabla 12. Variables metrológicas en el subsistema de soporte y posicionamiento	53
Tabla 13. Variables metrológicas en el subsistema eléctrico.....	53
Tabla 14. Variables metrológicas en el subsistema de seguridad .....	54
Tabla 15. Variables metrológicas en el subsistema de refrigeración .....	54
Tabla 16. Variables metrológicas en el subsistema de control .....	54
Tabla 17. Cronograma de mantenimiento actual para la fresadora CNC .....	60
Tabla 18. Matriz de lubricación fresadora MFG .....	64
Tabla 19. Características técnicas MobilVactra #2 .....	66
Tabla 20. Características técnicas Shell Tellus 68.....	66
Tabla 21. Fallas comunes en subsistema de refrigeración .....	72
Tabla 22. Fallas comunes en subsistema de seguridad .....	73
Tabla 23. Fallas comunes en subsistema de soporte y posicionamiento .....	77
Tabla 24. Fallas comunes en subsistema de control .....	78
Tabla 25. Fallas comunes en subsistema eléctrico.....	80
Tabla 26. Procedimientos de verificación en una fresadora .....	85
Tabla 27. Procedimientos de verificación en una fresadora (continuación) .....	86
Tabla 28. Procedimientos de puesta a punto en una fresadora.....	87



Tabla 29. Frecuencias de mantenimiento subsistema de soporte y posicionamiento .....89

Tabla 30. Frecuencias de mantenimiento subsistema de control .....91

Tabla 31. Frecuencias de mantenimiento subsistema de seguridad .....92

Tabla 32. Frecuencias de mantenimiento subsistema de refrigeración .....93

Tabla 33. Frecuencias de mantenimiento subsistema eléctrico.....94

## INTRODUCCIÓN

Las herramientas de mecanizado como la fresadora también evolucionan dependiendo de las necesidades a suplir; esta evolución se refleja en la adaptación de nuevas necesidades como lo son tiempos más cortos de mecanizado, producción en serie, copiado de piezas, precisión en el maquinado de piezas con tolerancias críticas, reducción del desperdicio de materia prima, reducción de costos, entre otras.

La tecnología entra a jugar un papel vital en la consecución de atributos en estas máquinas de mecanizado y logra suplir todas y muchas otras necesidades descritas anteriormente por medio del Control Numérico Computarizado (CNC). Es aquí donde la tecnología se implementa con el objetivo de optimizar los procesos productivos.

El mantenimiento de herramientas de mecanizado controlado por medio de CNC ahora es visto como el ítem más importante para tener en cuenta cuando se trata el tema de productividad y calidad, es por esto que se crea la necesidad de mantener estas máquinas en perfecto estado y conocer al detalle su funcionamiento para así alargar su vida útil, diagnosticar fácilmente sus fallas y proponer soluciones a estas.

Un plan de mantenimiento es visto como una necesidad para cualquier máquina con el objetivo de aumentar su confiabilidad y disponibilidad.

El Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT en asocio con sus estudiantes, desarrolla diferentes modalidades de proyectos, cuyo objetivo es desarrollar conocimientos en cuanto a mecánica, robótica y electrónica. Debido a esto, se propone construir una fresadora controlada por medio de CNC para la cual al finalizar el proyecto se observa la necesidad de crear un plan de

mantenimiento para la conservación en óptimas condiciones y la correcta operación de dicha fresadora CNC. Dicho plan de mantenimiento se encuentra acorde con el sistema de gestión de calidad adoptado por el Centro de Laboratorios de la Universidad Eafit

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un plan de mantenimiento para la máquina fresadora de 3 ejes marca MFG teniendo en cuenta los diferentes subsistemas del equipo en estudio.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

#### 1.2.1 Objetivo 1.

Documentar toda la información respecto de los diferentes proveedores para la máquina (Fresadora de 3 ejes marca MFG). Nivel uno – Conocer.

#### 1.2.2 Objetivo 2.

Describir los sub-sistemas más importantes del equipo y sus respectivas variables a controlar. Nivel dos – Comprender.

#### 1.2.3 Objetivo 3.

Realizar el análisis de fallas más relevantes presentadas en el equipo además de una verificación de puesta a punto por medio de patrones de verificación. Nivel cuatro - Analizar

#### 1.2.4 Objetivo 4.

Elaborar un plan de mantenimiento acorde con el sistema de calidad del centro de laboratorios de la universidad EAFIT. Nivel cinco – Sintetizar.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Universidad EAFIT, consciente de que en el ámbito industrial y operativo se dan cambios significativos en cuanto a manufactura, también se preocupa por estar a la vanguardia en cuanto a manufactura CNC. Por esto, pone a disposición del Centro de Laboratorios, la información necesaria, el conocimiento propio de sus empleados, los recursos monetarios y tecnológicos necesarios, para que junto con la innovación y emprendimiento de otras empresas colaboradoras, se haga realidad la construcción de una fresadora CNC

Un proyecto de esta envergadura, involucra tanto a la empresa privada como MFG y de Lápices a Cohetes, como también al Centro de Laboratorios de la Universidad EAFIT con su Laboratorio de Mecatrónica, el cual, aporta todo aquel conocimiento adquirido en el diseño de automatizaciones de proyectos anteriores.

El desarrollo de este tipo de máquinas CNC, por parte de la Escuela de Ingenierías de la Universidad EAFIT, contempla la necesidad de promover el interés del uso de los estudiantes de esta tecnología que se encuentra a su alcance, además de promover la alianza Universidad-Empresa en el desarrollo de proyectos tecnológicos.

La construcción de la fresadora MFG, promueve la integración de un equipo interdisciplinario, en donde cada uno de sus creadores aporta su conocimiento desde su punto de vista, ya sea aportando conocimiento desde la parte electrónica, de diseño mecánico, de programación, etc.

### Ilustración 1. Construcción fresadora MFG



Fuente: Laboratorio de Mecatrónica Universidad Eafit

Luego del diseño y construcción de la fresadora CNC, se da la necesidad de conocer más a fondo la máquina, mantenerla en excelentes condiciones y proporcionar todos aquellos recursos necesarios para su correcta y óptima operación. Desde esta premisa, de óptimo funcionamiento, se crea la necesidad de recopilar planos, verificar labores de mantenimiento, buscar proveedores de repuestos y de mantenimiento, realizar mejoras, y conservar la fresadora CNC en excelentes condiciones, para así lograr crear un plan de mantenimiento que abarque estas necesidades y que cumpla con su objetivo primordial de conocer y mantener la máquina.

### 3. ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 FRESADORAS CNC

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

Inventadas a principios del siglo XIX, las fresadoras se convierten en máquinas básicas en el sector del mecanizado. Gracias a la incorporación del control numérico, son las máquinas herramientas más polivalentes por la variedad de mecanizados que pueden realizar y la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación. La diversidad de procesos mecánicos y el aumento de la competitividad global han dado lugar a una amplia variedad de fresadoras que, aunque tienen una base común, se diferencian notablemente según el sector industrial en el que se utilicen. Asimismo, los progresos técnicos de diseño y calidad que se han realizado en las herramientas de fresar, han hecho posible el empleo de parámetros de corte muy altos, lo que conlleva una reducción drástica de los tiempos de mecanizado.(Sandvik, 2006)

Las fresadoras CNC son una excelente opción para maquinado de moldes y troqueles, ya que el tiempo de maquinado es largo y se requieren pocos cambios de herramienta.

En comparación con un centro de maquinado, las fresadoras CNC son de menor costo y pueden acomodar piezas de mayor tamaño que un centro de maquinado. Por su estructura abierta se facilita el manejo de los materiales. Una ventaja

adicional es que es una máquina que les es más familiar a los operadores de maquinaria convencional, por lo que aprenden rápidamente a usarlas.(VIWA)

Ilustración 2. Fresadora MFG



Fuente: Laboratorio de Mecatrónica Universidad Eafit

### 3.2 FRESADORA CNC DE 3 EJES

Las fresadoras pueden clasificarse en función del número de grados de libertad.

Fresadora de tres ejes: puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano.

### 3.3 VERIFICACIÓN Y PUESTA A PUNTO

Tanto en su construcción como en el mantenimiento preventivo que de forma periódica deben realizarse a las fresadoras es necesario controlar los siguientes parámetros:



- Cimentación y nivelación. Las fresadoras deben estar sujetas en cimientos que amortigüen de la mejor forma posible las vibraciones, así como que esté correctamente nivelada para asegurar un buen funcionamiento a la mesa en sus desplazamientos siendo necesario utilizar niveles de precisión.
- Alineación. Mediante el uso de comparadores hay que verificar que la mesa esté totalmente alineada procediendo a su reglaje si se observan desalineaciones.
- Funcionamiento del eje porta fresas. Se hace necesario verificar periódicamente con un comparador el posible descentrado del eje porta fresas en su movimiento rotatorio.
- Alineación de los puntos del plato divisor y el contrapunto. Utilizando un gramil adecuado se procede a verificar la altura y alineación de estos dos accesorios.
- Comprobación de la precisión de los nonios graduados. Verificar si los desplazamientos reales coinciden con la graduación de los tambores.
- Verificación del juego del eje porta fresas en la luneta del carnero. Si existe un juego excesivo es necesario proceder a la sustitución casquillo de bronce de la luneta. (Millan Gómez, 2006)

### 3.4 COMPRA DE UNA FRESADORA CNC

Es de vital importancia conocer ciertos aspectos que se relacionan con la máquina antes de su compra, para realizar una correcta elección, algunos de estos aspectos se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Factores que influyen en la compra de una fresadora CNC

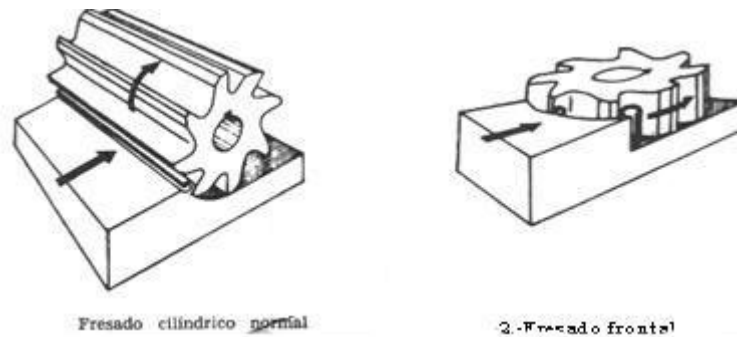
DIMENSIONES	PESOS	MATERIALES	EJES	HERRAMIENTAS	SEGURIDAD	INSTALACIÓN
Largo	Carga máxima sobre la mesa	Tipos de materiales a fresar	¿Cuántos ejes de movimiento requieren?	¿Rango velocidad del husillo	¿Posee paradas de emergencia?	¿Se requieren condiciones especiales para su instalación?
Alto					¿Posee sensores para la desactivación de la máquina como sensores de finales de carrera, apertura de puerta, etc.?	
Ancho	Peso de la máquina en vacío	Velocidades de fresado para cada material		¿Posee intercambiabilidad de herramientas?	¿La empresa proveedora se encarga de la instalación?	
Distancia entre columna y porta broca						
Diámetro máximo de fresa				¿Trae accesorios como juegos de pinzas, porta brocas, fresas, conos?		¿Cuenta con elementos protectores como guardas, puertas o mensajes de alerta?
SOFTWARE	REFRIGERACIÓN	LUBRICACIÓN	SERVICIO POST-VENTA	CONEXIONES ELECTRICAS	ZONA DE FRESADO	CONDICIONES DE TRABAJO
¿Es gratuito?, ¿Cuánto cuesta?	¿Cuenta con sistema de refrigeración?	¿Cuenta con un sistema centralizado de lubricación?	¿La empresa proveedora cuenta con un buen stock de repuestos?	¿Qué tipo de alimentación requiere?	¿Cuál es el área efectiva de fresado y capacidad de recorrido en los ejes?	Temperatura de trabajo, porcentaje de humedad, ruido emitido
¿Requiere actualizaciones?	¿Cuál es su capacidad de bombeo?	¿Cuáles puntos se deben lubricar?	¿Qué garantía ofrecen?	¿Con qué voltaje opera?	¿Cuál es la distancia del husillo a la mesa?	
¿Cuánto cuestan las actualizaciones?		¿Qué lubricante se debe utilizar para cada punto?	¿Entrega de manuales mecánicos, eléctricos, operación, mantenimiento, etc.?			
¿Cada cuánto hay que actualizarlo?	¿Qué tipo de refrigerantes utiliza?	¿Qué cantidad de lubricante para cada punto?	¿La empresa proveedora ofrece servicios adicionales de mantenimiento, capacitación, soporte técnico?	¿Cuál es la potencia del motor del husillo principal?	Número de canales de la mesa	
¿Cuántos perfiles de acceso posee?						

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 PROCESO DE FRESADO

En el fresado, una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes, se mueve lentamente para generar un plano o superficie recta. La dirección del movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación. El movimiento de velocidad lo proporciona la fresa rotatoria. Hay varias formas de fresado; las dos básicas son el fresado periférico y el fresado de frente. (Cede)

Ilustración 3. Tipos de Fresado



Fuente: Mecanizado y mantenimiento de máquinas

#### 3.5.1 Condiciones de corte.

Para realizar una operación de maquinado se requiere el movimiento relativo de la herramienta y el trabajo. El movimiento primario se realiza a una cierta velocidad de corte  $v$ . Además, la herramienta debe moverse lateralmente a través del trabajo. Este es un movimiento mucho más lento, llamado el avance  $f$ . la dimensión restante del corte es la penetración de la herramienta de corte dentro de la superficie original del trabajo, llamada profundidad de corte  $d$ . al conjunto de velocidad, avance y profundidad de corte, se les llama condiciones de corte

Las unidades típicas usadas para la velocidad de corte son  $m/min$  o  $(ft/min)$ , la profundidad de corte se expresa en  $mm$  ( $in$ )

Tabla 2. Factores que influyen sobre el proceso de corte

Parámetro	Influencia e interrelaciones
Velocidad de corte, profundidad de corte, avance, fluidos de corte	Fuerzas, potencia, aumento de temperatura, vida de la herramienta, tipo de viruta, acabo superficial.
Ángulos de la herramienta	Igual que arriba; influencia sobre dirección de flujo de viruta; resistencia de la herramienta al desportillamiento.
Viruta continua	Buen acabado superficial; fuerzas estables de corte; indeseable en maquinado automatizado.
Viruta de borde acumulado	Mal acabado superficial; si el borde acumulado es delgado, puede proteger las superficies de la herramienta.
Viruta discontinua	Preferible para facilidad al desecho de viruta; fuerzas fluctuantes de corte; puede afectar el acabo superficial y causar vibración y traqueteo.
Aumento de temperatura	Influye sobre la vida de la herramienta, en especial sobre el desgaste de cráter, y la exactitud dimensional de la pieza; puede causar daños térmicos a la superficie de la pieza.
Desgaste de la herramienta	Influye sobre el acabado superficial, la exactitud dimensional, aumento de temperatura, fuerzas y potencia.
Maquinabilidad	Se relaciona con la vida de la herramienta, el acabo superficial, las fuerzas y la potencia.

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología

### 3.5.2 Fluidos para corte

Un fluido para corte es un líquido o gas que se aplica directamente a la operación de maquinado para mejorar el desempeño del corte. Los dos problemas principales que atienden los fluidos para corte son:

- La generación de calor en las zonas de corte y fricción
- Fricción en las interfaces herramienta-viruta y herramienta-trabajo

Además de la remoción del calor y la reducción de fricción, los fluidos para corte brindan beneficios adicionales como: lavado de las virutas (especialmente en esmerilado y fresado), reducción de la temperatura de la pieza de trabajo para un

manejo más fácil, disminuye las fuerzas de corte y los requerimientos de potencia, mejora la estabilidad dimensional de la pieza de trabajo y optimiza el acabado superficial

Existen dos tipos de fluidos para corte: refrigerantes y lubricantes. Los refrigerantes son fluidos para corte diseñados para reducir los efectos del calor en las operaciones de maquinado y parecen ser más efectivos a velocidades de corte relativamente altas, donde la generación de calor y las altas temperaturas son un problemas, se usan frecuente en operaciones de torneado y fresado, donde se genera calor en grandes cantidades. Los refrigerantes son soluciones o emulsiones en agua debido a que esta tiene propiedades térmicas ideales en estos fluidos para corte.

Los lubricantes tienden a perder su efectividad a altas velocidades (arriba de aproximadamente 120 *m/min*, 400*ft/min*), además los aceites a altas velocidades de corte se vaporizan antes de que puedan lubricar

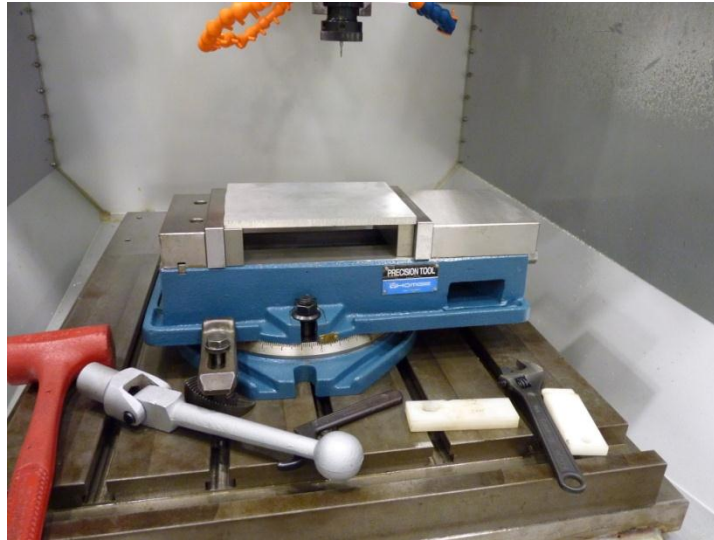
- Poder refrigerante: debe poseer una baja viscosidad con el objetivo de obtener el máximo contacto térmico(Groover, 1997)

### 3.5.3 Dispositivos de amarre y sujeción

La fresadora MFG posee mordazas mecánicas manuales que son apropiadas para sujetar piezas prismáticas y es de sencilla operación.

Tiene el inconveniente de la inseguridad que produce la imposibilidad de controlar la fuerza de amarre que se consigue con ella, ya que esta depende directamente del par aplicado en la manilla, lo cual no la hace recomendable para piezas que exijan tolerancias estrechas.

#### Ilustración 4. Dispositivo de Sujeción








Fuente: Laboratorio de Mecatrónica Universidad Eafit

Este tipo de sujeción es solo apropiado para piezas unitarias sin necesidad de precisión en el mecanizado.

#### 4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Para la correcta y segura operación de la fresadora MFG es vital recordar algunas normas de seguridad industrial que ayudan a prevenir accidentes o incidentes a la hora de interactuar con la máquina.

Tabla 3. Precauciones mínimas de seguridad

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD				
LEER MANUAL DE OPERACIÓN	NO USE ANILLOS, RELOJ O PULSERAS	CONSULTE ANOMALIAS	UTILICE GAFAS DE PROTECCIÓN	CIERRE LA PUERTA AL COMENZAR
				

Fuente: Elaboración propia

##### 4.1 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- Leer las instrucciones: lea completamente las instrucciones antes de poner la máquina en funcionamiento.

- Conexión eléctrica: la máquina solo se conecta en un tomacorriente con puesta a tierra. La conexión eléctrica solamente puede ser modificada por un técnico electricista.
- Puesta en marcha: asegúrese que la máquina se encuentra antes de cualquier puesta en marcha, en estado correcto de mantenimiento, y de que no se retire ningún dispositivo de seguridad.
- No modificar la máquina: modificaciones propias en instalaciones de seguridad, desactivado de instalaciones de vigilancia. Así como cualquier manipulación en la parte eléctrica/electrónica de la máquina están prohibidos.
- Ante cualquier riesgo de emergencia: parar la máquina inmediatamente, oprimiendo el pulsador de paro de emergencia.
- Sujetar con seguridad: controlar antes del comienzo del procedimiento si la herramienta o la pieza están sujetos correctamente.
- No sujetar en forma corta: evite diámetro pequeños de sujeción ante diámetros de fresado grandes.
- Retirar desperdicios de viruta: retirar la viruta con la máquina desconectada. ¡No poner las manos en la máquina cuando este en marcha!
- Cambio de herramienta: cambiar las herramientas solo cuando la máquina este detenida.
- Trabajos de medición: realice trabajos de medición solamente con la máquina parada.
- Llevar protección para el cuerpo: preste atención, de que su cabello no atrape la máquina, llevar la cabeza cubierta. Proteja los ojos con gafas de seguridad. No llevar ropa de trabajo suelta, esta debe estar ceñida en los puños y alrededor de las caderas.
- Supervisión de la máquina: la máquina en funcionamiento nunca debe quedar sin supervisión.



- Mantener limpio el lugar: un lugar de trabajo desordenado aumenta el riesgo de accidente.
- Trabajos de mantenimiento y de ajuste: todos los trabajos de mantenimiento y ajuste deben ser ejecutados con la máquina desconectada y la tecla de paro de emergencia accionada.
- Protector de viruta: mantenga la puerta del protector de la viruta cerrada también durante la operación.
- Interruptores: cuando la máquina está en la operación, nunca pare la máquina usando el interruptor principal en el gabinete de los interruptores.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA FRESADORA MFG

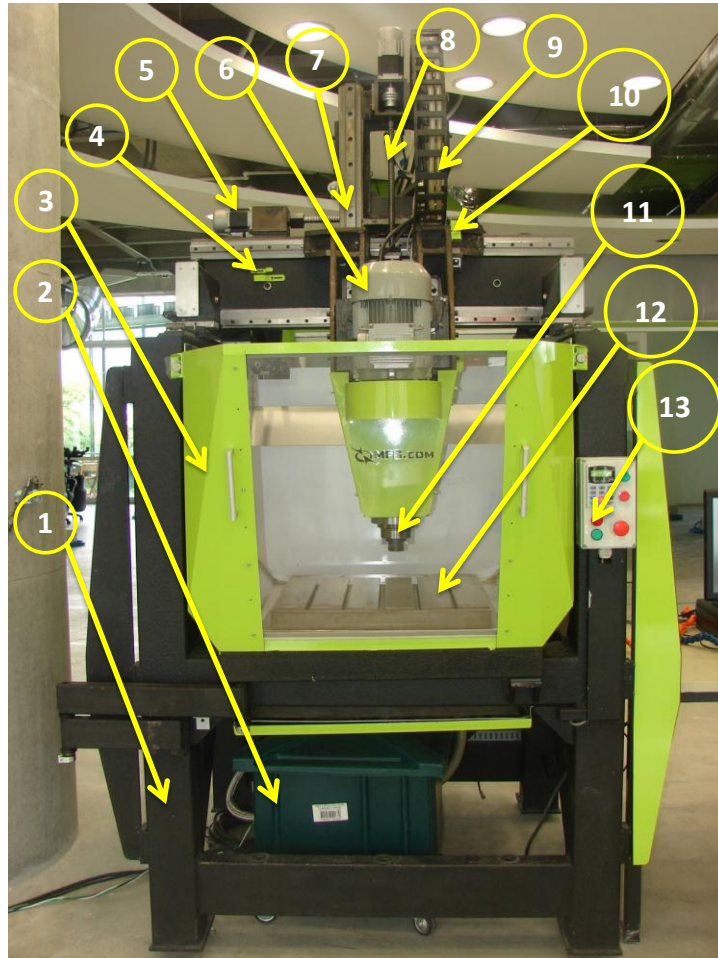
Se trata de una fresadora vertical controlada por medio de CNC con las siguientes características:

Tabla 4. Características principales fresadora MFG

ALIMENTACIÓN	CONTROL DE MOVIMIENTO	CONTROL	SOFTWARE	PESO	DIMENSIONES
Trifásica, 220VAC	EJE X servo 0,75KW recorrido de 448 mm	Tarjeta GECKO DRIVE, ref. GREX G100 de 4MHz	MATCH 3	2000 Kg Aprox.	LARGO 2200 mm
Frecuencia 60Hz	EJE Y servo 1KW recorrido de 510 mm				ALTO 2700 mm
Amperaje 5A	EJE Z servo 0,75KW recorrido de 340 mm				ANCHO 1660 mm
	SPLINDLE motor 6,6 HP transmisión por polea con relación 1:2,5 velocidad 0-6000 RPM				

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5. Listado de partes frontal



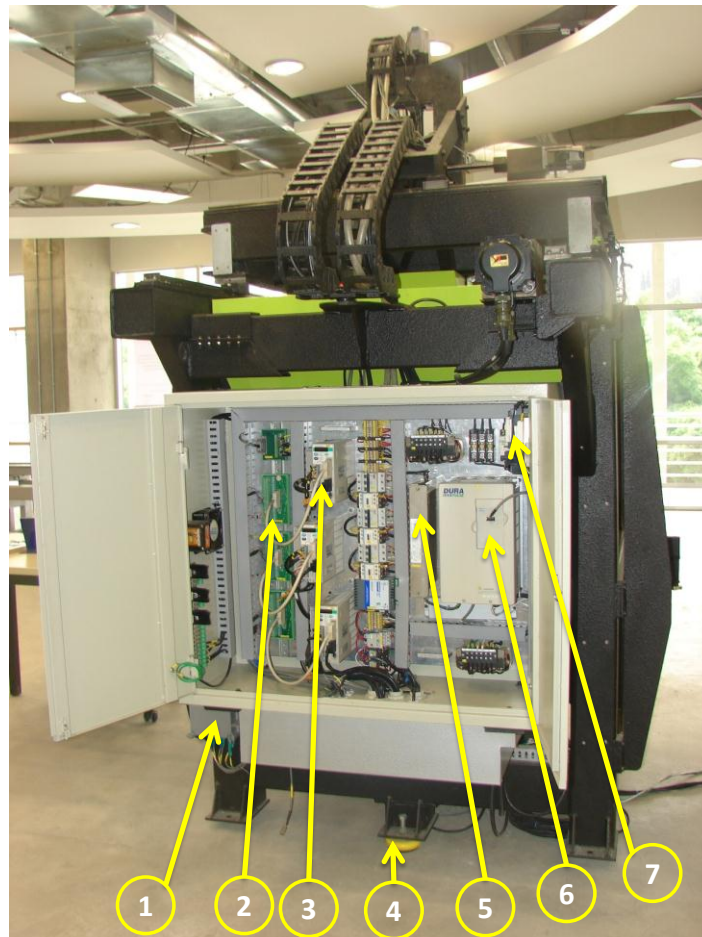
Fuente: Elaboración propia

#### Listado de partes

1. Chasis
2. Tanque almacenamiento refrigerante
3. puerta
4. Microsuiches final de carrera eje X
5. Servomotor eje X

- 6. Motor del husillo
- 7. Guía lineal de desplazamiento eje Z
- 8. Husillo de bolas eje Z
- 9. Mangueras refrigerante
- 10. Columna
- 11. Cabezal de fresado
- 12. Mesa
- 13. Start/Stop

Ilustración 6. Listado de partes posterior



Fuente: Elaboración propia

### Listado de partes

1. Gabinete tarjetas de control
2. Tarjetas de interfaz
3. Drivers
4. Almohadilla anti-vibración
5. Filtro
6. Variador del husillo
7. Contactor principal

### 5.1 CONVENCIÓN DE EJES PARA LA FRESADORA MFG

Es importante para la programación del proceso de fresado y para la referenciación de partes y puntos dentro de la máquina, conocer la convención de ejes que esta maneja.

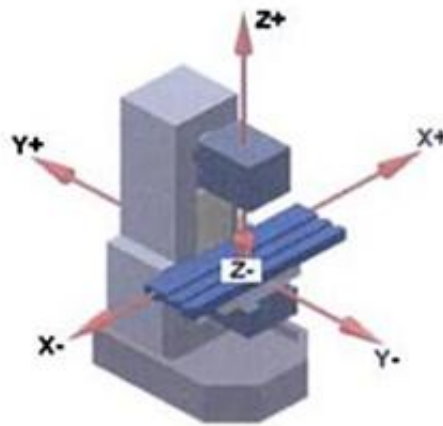
#### Ilustración 7. Convención de ejes



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura el eje Z es el que realiza el movimiento perpendicular hacia el suelo, el eje Y realiza el movimiento transversal de la herramienta, y el eje X, el movimiento longitudinal.

Ilustración 8. Desplazamientos de ejes en la fresadora



Fuente: Control numérico y programación

La fresadora MFG dispone de un mínimo de tres ejes. Dos de ellos X e Y se asocian en el plano horizontal (longitudinal y transversal) de la mesa de trabajo, mientras que el tercero es el desplazamiento vertical de la máquina. La trayectoria de la herramienta se define mediante la composición de los desplazamientos en X, Y, Z.

## 5.2 MATERIALES DE TRABAJO EN LA FRESADORA MFG

Un material inadecuado que sea utilizado en la fresadora, puede causar desgaste prematuro de sus componentes, averías o incluso accidentes, debido a que esta

no se diseña para trabajar bajo ciertas condiciones que se dan fresar materiales distintos para los que fue construida.

Cada material posee una caracterización sobre parámetros de corte como profundidad, avance, revoluciones por minuto, etc. El material también es un parámetro crítico para la selección de la herramienta de corte debido a que su dureza repercute en la escogencia de la fresa. Otro parámetro que varía dependiendo del material es el tipo de refrigerante y su cantidad.

Básicamente la máquina debe fresar materiales blandos como aluminio, resina para mecanizar, espuma de poliuretano. Dentro de los aceros blandos, se encuentra en la capacidad de fresar materiales como acero 1020.

Tabla 5. Especificaciones de mecanizado del poliuretano

MATERIAL	VELOCIDAD DE DESBASTE (RPM)	AVANCE DE DESBASTE (plg/min)	VELOCIDAD DE ACABADO	AVANCE DE ACABADO (plg/min)
POLIURETANO	2500	200	1500	200

Fuente: FREEMAN Manufacturing and Supply Company

La velocidad de corte se puede definir como el número de veces que cada diente de la fresa pasa frente a un punto de la pieza de trabajo en un periodo dado. La velocidad de corte se mide en pies por minuto (PPM). Las velocidades óptimas de corte, de acuerdo con el material de que están hechos los cortadores, se pueden calcular con la siguiente tabla.

Tabla 6. Velocidades de corte para fresar aceros blandos y aluminio

Material	Velocidad de corte (PPM)	
	Fresa de acero rápido	Fresa de carburo
Acero maquinable	100-150	400-600
Aluminio	300-800	1000-2000

Fuente: Manual de fresadoras

### 5.2.1 Cálculo de las RPM de una fresa

Las revoluciones por minuto para las fresadoras pueden calcularse con la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{4 V.C.}{D}$$

En donde  $V.C.$  = velocidad de corte del material

$D$  = Diámetro de la fresa

Ejemplo: se maquina aluminio con una fresa de espiga de 0.75 pulgadas de diámetro, el cálculo se realiza de este modo:

$$RPM = \frac{4 V.C.}{D} = \frac{4 (300 PPM)}{D} = \frac{1200}{0.75}$$

$$RPM = 1600$$

Los valores óptimos de avance por diente se determinan en la siguiente tabla

Tabla 7. Valores óptimos de avance por diente (APD)

Material	Tipo de fresa o cortador					
	De refrentar	Helicoidal	Ranuradora/ corte lateral	De espiga	De forma	De sierra
Aluminio	0.022	0.018	0.013	0.011	0.007	0.005
Acero al carbono	0.012	0.010	0.007	0.006	0.004	0.003

Fuente: Manual de fresadoras



### 5.2.2 Cálculo del avance

El avance (o alimentación) se mide en pulgadas por minuto y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Avance} = (\text{APD}) (N) (\text{RPM})$$

En donde APD = Avance óptimo por diente

N = número de dientes de la fresa utilizada

RPM = revoluciones por minuto del cortador

Ejemplo: se utiliza una fresa hueca de cuatro ranuras y 0.5 pulgadas de diámetro, hecha de acero de alto carbono, para maquinar aluminio a razón de 0.007 pulgadas por diente. Calcular las RPM y el avance

$$RPM = \frac{4 V.C.}{D} = \frac{4 (300 PPM)}{D} = \frac{1200}{0.5}$$

$$RPM = 2400$$

$$\text{Avance} = (0.007 \text{ pulgpordiente})(4 \text{ dientes})(2400 \text{ RPM})$$

$$\text{Avance} = 67 \text{ pulgadas por minuto}$$

### 5.2.3 Maquinabilidad de los materiales

Conocer más a fondo las características de los materiales que se utilizan en la fresadora MFG, nos ayuda a determinar qué tipos de refrigerantes y qué condiciones especiales se requieren para un correcto fresado

#### 5.2.3.1 Aceros al bajo carbono

El acero al bajo carbono es el material de corte libre que se utiliza más frecuentemente. Por lo general usa cortadores de acero o de carburo de alta velocidad. Siempre que sea posible se debe usar un refrigerante de aceite soluble (brumol) y agua. Las virutas que se producen en el fresado de superficies deben ser brillantes y ligeramente rizadas y deben salir libremente de la máquina. Las fresas verticales, por su parte, deben producir virutas enrolladas largas. La aparición de virutas pequeñas y con cambio de color indica desgaste de la fresa.

#### 5.2.3.2 Aluminio

El aluminio es un material que se puede fresar con mucha facilidad, pero se debe tener cuidado al sujetar la pieza ya que puede ocurrir penetración o distorsión. Las fresas con dientes para desbastar funcionan mejor, lo que permite un buen espacio libre para las virutas. Los cortes pesados producen virutas pequeñas y un rectificado fino proviene de cortes ligeros. El aluminio se puede maquinar en seco, pero el uso de refrigerantes mejora con frecuencia las características del material.

#### 5.2.3.3 Plásticos

Son de fresado fácil en general y se pueden maquinar con índices altos de avance y elevadas RPM, estos generalmente se maquinan en seco (Kibbe, 1995)

### 5.3 SUBSISTEMA DE SOPORTE Y POSICIONAMIENTO

En este subsistema la función principal es generar los recorridos de la herramienta que se pueden originar por la acción única o combinada de los desplazamientos de cada uno de sus ejes.

#### 5.3.1 Estructura o chasis

Se encarga de soportar a los demás componentes y se conforma por medio de vigas en perfil tipo I y perfil tipo rectangular, unidas por soldadura con un recubrimiento de pintura tipo bodyschutz que brinda protección a la corrosión.

#### 5.3.2 Guías lineales de desplazamiento

Soportan el peso de la estructura y generan movilidad al cabezal de fresado, son marca NSK ref. LS30Z su rango permisible de temperatura debe ser 50°C con picos de hasta 80°C, además se debe tener en cuenta no remover suciedad o grasa con disolventes como hexano, thinner o sumergir en productos que contengan kerosene(NSK)

Ilustración 9. Guías lineales de desplazamiento

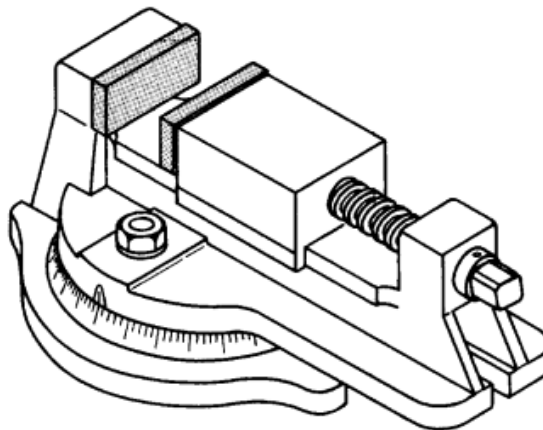


Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 Amarre y sujeción de la pieza

El sistema empleado para el mecanizado de la primera pieza es el tornillo de mordazas paralelas. Este tipo de amarre se utiliza cuando se trata de mecanizar piezas prismáticas regulares y de tamaño relativamente pequeño. (Junta de Andalucía)

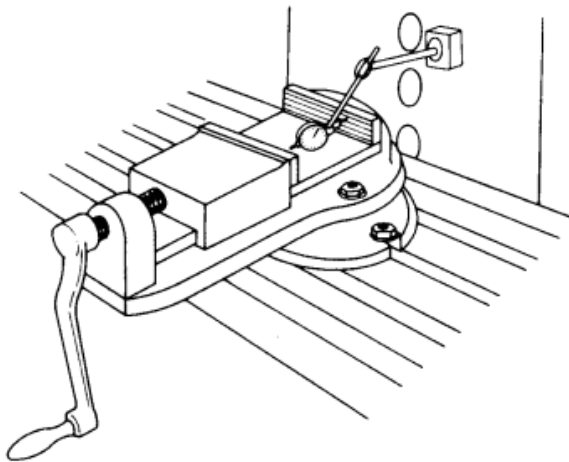
Ilustración 10. Sujeción por mordazas paralelas



Fuente: El trabajo en la fresadora

El tornillo de mordazas se sujeta directamente encima de la mesa de la fresadora mediante unos tornillos, y se deberá de tener la precaución de colocar la mordaza paralela al desplazamiento de la mesa mediante un reloj comparador según se ve en la figura. Para ello se aflojarán los tornillos y se procede al alineamiento palpando la mordaza fija con suaves golpes de martillo. Una vez alineado, se aprietan los tornillos y se vuelve a comprobar el alineamiento

Ilustración 11. Alineamiento de mordaza

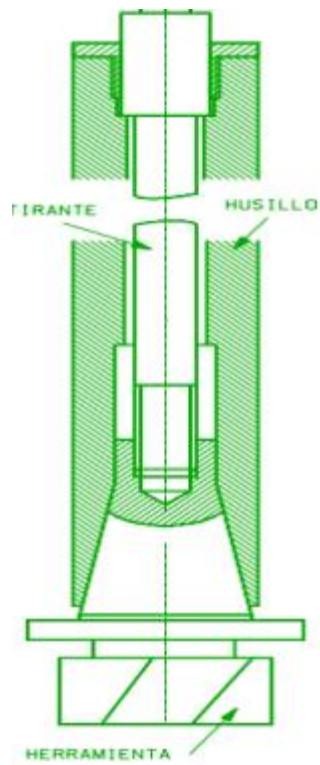


Fuente: El trabajo en la fresadora

#### 5.3.4 Amarre y sujeción de la herramienta

Tras el montaje previo de la herramienta, se sujeta ésta directamente en el husillo de la máquina, con lo cual se consigue una gran robustez y precisión de montaje. La sujeción se realiza mediante un tirante roscado, el cual amarra el porta-herramientas en el eje principal de la máquina.

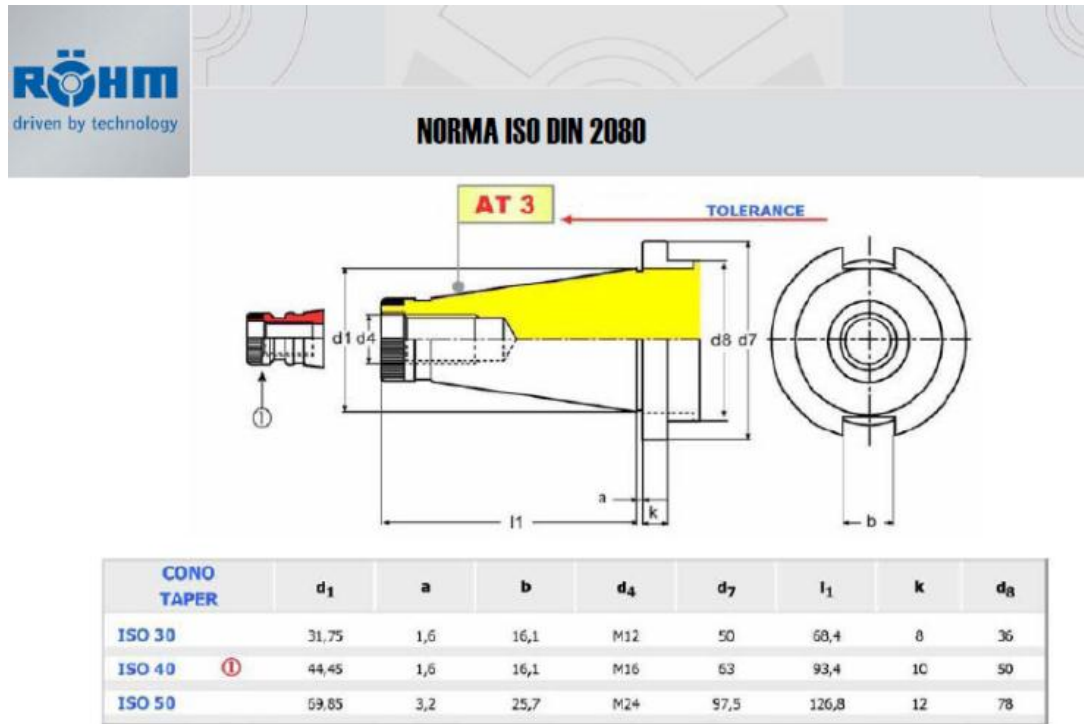
Ilustración 12. Sistema de amarre de la herramienta



Fuente: El trabajo en la fresadora

La norma que regula las medidas en los mangos cónicos es la ISO DIN 2080

Ilustración 13. Norma ISO DIN 2080



Fuente: [www.rohmiberica.com](http://www.rohmiberica.com)

Para una correcta utilización del cambiador de herramientas, este se debe activar por medio de su botón y girar un poco el porta-herramientas para que se active correctamente, ya que este es un mecanismo que se activa por medio de una solenoide que baja y acopla una copa que asegura el porta-herramientas

Ilustración 14. Mecanismo de activación cambio de herramienta



Fuente: Elaboración propia

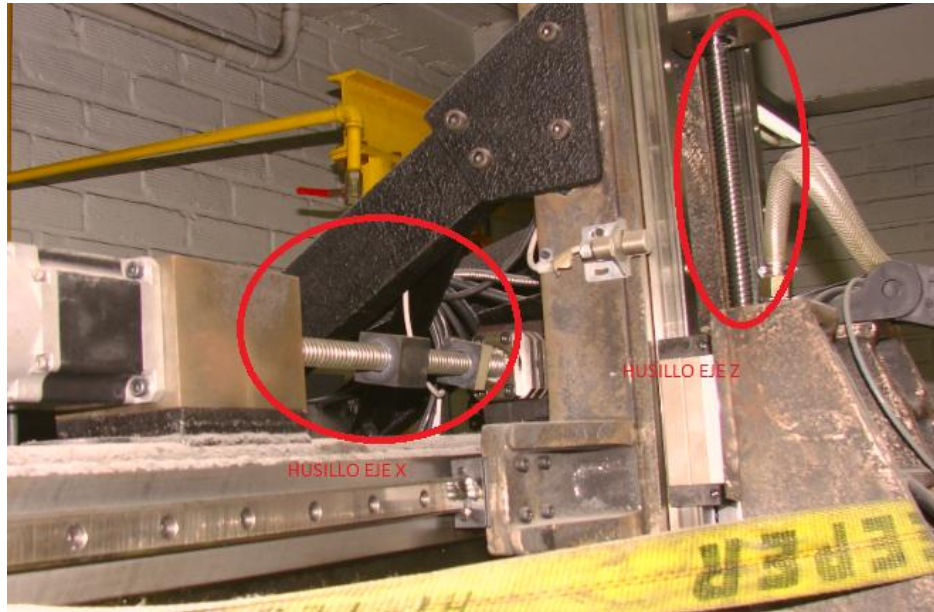
Los sistemas de transmisión son los encargados de realizar los movimientos en los ejes a partir del giro generado por el motor

### 5.3.5 Husillos de bolas

El movimiento a los ejes a partir de los motores los realizan los husillos de bolas que funcionan por el principio de recirculación de bolas. Consisten en un tornillo sinfín acanalado y un acoplamiento a los que se fija el conjunto mecánico a desplazar. Cuando el grupo motor gira, su rotación se transmite al tornillo sin fin y el cuerpo del acoplamiento se traslada longitudinalmente a través de este, arrastrando consigo a la mesa de trabajo en el sentido oportuno.



Ilustración 15. Sistema de transmisión



Fuente: Elaboración propia

Las transmisiones deben producir movimientos regulares, estables y capaces de reaccionar rápidamente en las aceleraciones y desaceleraciones. (Cruz, 2007)

### 5.3.6 Motor del husillo

Este tipo de actuador puede girar y acelerarse controladamente en ambos sentidos, además soporta los esfuerzos generados por las fuerzas de corte o por los desplazamientos a alta velocidad para su movimiento en vacío. Se trata de un motor tipo jaula de ardilla marca Siemens con las siguientes características:

Tabla 8. Características principales motor husillo

MARCA	POTENCIA	FRECUENCIA	RPM	PESO	TAMAÑO CONSTRUCTIVO	EFICIENCIA $\eta$
SIEMENS	6.6 HP	60 Hz	1740	31 Kg	113	79.4
VOLTAJE	CORRIENTE	FACTOR DE PROTECCIÓN	T° OPERACIÓN	NORMA DE CONSTRUCCIÓN	FACTOR DE POTENCIA	Tn/Ta
220/440 V	19.6/9.8 A	IP55	-15/40 °C	IEC 34	0.83	27.0/54.0 Nm

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.7 Servomotores

Estos se utilizan para realizar el movimiento en cada uno de sus ejes y son adecuados para este tipo de movimiento debido a su alta potencia y alto par que consiguen a bajas revoluciones, esto permite trabajar a pocas revoluciones con grandes cargas de trabajo. Un encoder se encarga de controlar las revoluciones exactas y también es el encargado de frenar en el punto exacto que ordena el control al motor

Tabla 9. Características principales servomotores según ejes

MODELO		SVL-207B (EJES X Y Z)	SVM-210 (EJE Y)
INERCIA		BAJA	BAJA
POTENCIA		750 W	1000 W
MÁXIMA VELOCIDAD	RPM	4500	3000
VELOCIDAD NOMINAL	RPM	3000	2000
TORQUE NOMINAL	lb-in	21.2	42.5
	Nm	2.39	4.8
MÁXIMO TORQUE	lb-in	63.4	138.9
	Nm	7.16	15.7
DIÁMETRO EJE	in	0.748	0.866
	mm	19	22
TAMAÑO DEL EJE	in	1.260	1.417
	mm	32	36
CARGA RADIAL	lb	77	110
MÁXIMA EN EJE	N	343	490
CARGA AXIAL	lb	22	22
MÁXIMA EN EJE	N	98	98
TAMAÑO	in	6.756	5.63
	mm	171.6	143
PESO	lb	7.5	10.58
	kg	3.4	4.8
MAX TEMPERATURA DE OPERACIÓN		110°C	110°C
VIBRACIÓN		2.5 G / 5.0 G	2.5 G / 5.0 G
IP		IP65 (cuerpo del motor)	IP65 (cuerpo del motor)

Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que el servomotor que controla el movimiento en el eje Z, posee freno, para controlar la inercia que se genera por la gravedad.

## 5.4 SUBSISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Este subsistema se encarga de mantener unas condiciones de temperaturas adecuadas para el maquinado, con el objetivo de preservar la vida útil de las fresas y obtener una mejor calidad en el fresado

### 5.4.1 Motobomba

se encarga de proporcionar la refrigeración por medio del refrigerante en el proceso de fresado. Consta de una bomba de engranajes marca Pedrollo con las siguientes características:

Tabla 10. Características principales motobomba Pedrollo

MODELO	POTENCIA		Q	H	Hmax	Hmin	VOLTAJE	AMPERAJE	FRECUENCIA	RPM	FACTOR DE PROTECCION
PKM 60	0.75 Kw	0.5 HP	0.125 l/min	7.6 m	40m	5m	110 V	5.5 A	60 Hz	3450	IP44

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16. Motobomba del subsistema de refrigeración



Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2 Tanque almacenamiento refrigerante

Es un tanque marca Colempaques con trampa de grasa y capacidad aproximada para 95 litros

#### 5.4.3 Malla filtro para refrigerante

Se encarga de impedir el paso de viruta hacia el tanque de almacenamiento de refrigerante, se debe limpiar regularmente para permitir el libre flujo de refrigerante

Ilustración 17. Malla filtro subsistema de refrigeración



Fuente: Elaboración propia

Además de la motobomba, el tanque y la malla filtro, el subsistema de refrigeración, cuenta con mangueras y sus respectivas conexiones que transportan el refrigerante hasta la pieza fresada.

## 5.5 SUBSISTEMA DE SEGURIDAD

Este subsistema se encarga de proporcionar seguridad tanto al operario como a la máquina, por medio de guardas de seguridad que impiden accidentes en la operación y por medio de sensores que imposibilitan su accionamiento en determinadas condiciones o desactivan el subsistema de posicionamiento.

### 5.5.1 Guarda motor husillo

Esta se encarga de evitar accidentes de atrapamiento debido al giro del motor del husillo

### 5.5.2 Sensores home, apertura de puerta y de final de carrera

Estos se encuentran en cada uno de los tres ejes de movimiento de la fresadora y proporcionan información de posicionamiento con el fin de evitar choques del cabezal contra los topes.

Ilustración 18. Sensor de apertura de puerta



Fuente: Informe fresadora restructuración general

Los sensores home se encargan de posicionar inicialmente a la fresadora son de tipo inductivo de 24 VDC, dos unidades por cada eje. Los sensores de final de carrera son microsuiches mecánicos y dos por cada eje. El sensor de apertura es de tipo inductivo 10- 30 VDC y una sola unidad

### 5.5.3 Puerta

Se encarga, junto con el sensor de puerta abierta de impedir el acceso durante la operación al área de fresado, además evita el contacto de pequeñas partículas de material con el operario. Su mecanismo de apertura se basa en un sistema de barras.

## 5.6 SUBSISTEMA DE CONTROL

Este se encarga de mandar señales a los actuadores como motores y servomotores para que generen movimiento en los 3 ejes y en el husillo por medio del software Mach 3

### 5.6.1 Software

Se trata del software Mach 3 versión para fresadora Mill, el cual provee control a la fresadora por medio de una interfaz para los 3 ejes y el motor del husillo, además de la visualización de los estados de entradas o salidas ya sean análogas o digitales de la fresadora MFG, este permite la comunicación con los servomotores y motores usando un computador.

Es importante hacer énfasis en los costos que genera para mantenimiento a nivel industrial, la actualización y la compra de licencias para el software de control CNC ya que estos con el paso del tiempo se tornan obsoletos o requieren actualizaciones que generan sobrecostos que se deben tener en cuenta desde el mismo momento de la adquisición de la máquina

Algunos proveedores de software son:



Tabla 11. Proveedores de software para control CNC

EMPRESA	SOFTWARE	SISTEMA OPERATIVO	DESCRIPCIÓN
Artsoftltda	MACH3	WINDOWS 2000/XP	Es un software de control CNC para operar máquinas CNC como tornos y fresadoras y que funciona bajo sistema operativo Windows
EMC^2	EMC2	LINUX	Es un software de control CNC de utilización libre para máquinas y herramientas con ambiente en sistema operativo LINUX
Probotix	AXIS	GUI FOR EMC2	Es una interfaz de usuario para EMC2 con vista previa interactiva.
Probotix	KCAM	WINDOWS 98	Es un software diseñado para funcionar en equipos CNC.
Probotix	TURBO CNC	DOS	Es un software de interfaz máquina - usuario para la conducción de las máquinas hasta con 8 ejes de movimiento.
Probotix	DESKCNC	WINDOWS	Es un software bajo sistema operativo Windows que me permite controlar máquinas por control numérico CNC.
Probotix	CNCZEUS	DOS	Es un software avanzado basado en controladores de la máquina y a muy bajo costo. Emplea productos básicos basados en x86 hardware.
Probotix	MASTER5	WINDOWS 95/98	Es un software bajo sistema operativo Windows compatible con versión 95/98 que me permite controlar maquinas por control numérico CNC.
Probotix	DESKAM	WINDOWS/DOS	Es un software diseñado para funcionar en equipos CNC
Probotix	CNCPRO	DOS	Es un software gratuito de código abierto basado en PC y programa de CNC. Se ejecuta bajo sistema operativo DOS y utiliza el puerto paralelo a la interfaz con el hardware de control de la máquina.

Fuente: Elaboración propia

## Ventajas del software de control CNC MACH3 (Ruiz, y otros, 2011)

- Visualización de líneas de código
- Visualización de posición de cada eje
- Visualización de en 3D de la pieza a mecanizar
- Carga, edición y cerrado de códigos
- Visualización de estado de periféricos
- Control y manipulación de cada uno de los ejes y husillo
- Control de rampas de aceleración de cada motor (respectivo eje) y husillo
- Paro de emergencia por software
- Lectura y toma de decisiones por sensores
- Medición de tiempo de trabajo de máquina en cada proceso de mecanizado.
- Activación y control de periféricos desde software.
- Diagnósticos de procesos.
- Información de herramienta

### 5.6.2 Tarjeta de control G REX 100

Esta tarjeta de marca Gecko drive y referencia GREX G100 de 4MHz, posee 8 señales de pulso, 8 señales de dirección, 6 entradas de encoder (1MHz), 16 salidas de 100mA y 24VDC, 16 entradas, 4 salidas análogas, 4 entradas análogas, voltaje de alimentación 12 a 24 VDC, interface USB y comunicación por medio de Ethernet. Es la encargada de recibir la información del software, convertirla y transmitirla a los actuadores finales como el husillo y los servomotores de los 3 ejes que posee la fresadora MFG.

### 5.6.3 Controladores (drivers)

Estos permiten al sistema operativo interactuar con un periférico que en este caso son los servomotores, haciendo una abstracción del hardware y proporcionando una interfaz para usarlo. Se puede esquematizar como un manual de instrucciones que le indica al sistema operativo, cómo debe controlar y comunicarse con un dispositivo en particular como por ejemplo el servomotor de un eje (Wikipedia)

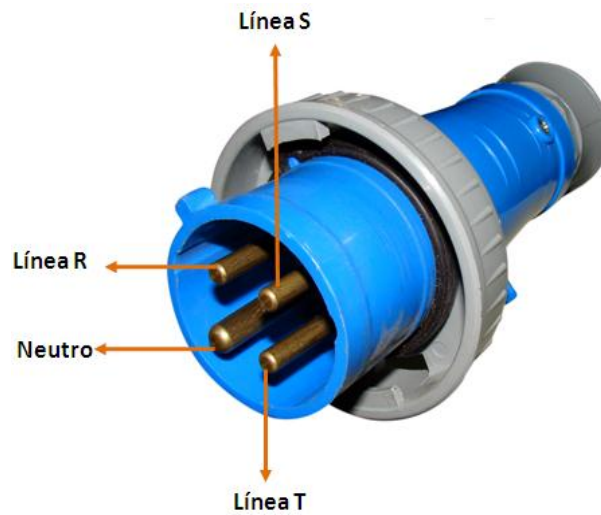
## 5.7 SUBSISTEMA ELECTRICO

Este subsistema funciona con una conexión trifásica de 220 voltios que alimenta a los demás subsistemas. Consta de fuentes a diferentes voltajes, relés térmicos, contactores, fusibles de protección, suiches, bobinas, breakers, drivers, variador de frecuencia, filtros y otros componentes que aseguran la correcta alimentación de los motores y servomotores que hacen parte del subsistema de posicionamiento

### 5.7.1 Conexión principal

La conexión se realiza como se muestra en la ilustración con el conector de potencia trifásico 220V, solo existe una forma posible de conectar este enchufe, ya que este posee una muesca de seguridad la cual solo deja entrar el conector en un solo sentido.

Ilustración 19. Conector principal



Fuente: Informe fresadora restructuración general

## 5.8 VARIABLES METROLÓGICAS A CONTROLAR PARA CADA SUBSISTEMA

Para llevar un control del comportamiento de la fresadora MFG, es importante realizar mediciones en los componentes principales de cada subsistema, de esta forma se obtiene una base de datos de mediciones que se convierten en información comparable para así tomar decisiones en cuanto a rutinas, procedimientos, frecuencias, reemplazos, etc.

Una variable en una máquina, se debe medir y comparar con un rango permisible, si no se posee este rango, se debe comparar con medidas anteriores o de máquinas similares para así analizar su comportamiento y comprender lo que está pasando al interior de esta.

Tabla 12. Variables metrológicas en el subsistema de soporte y posicionamiento

SUB-SISTEMA	ELEMENTO Ó PUNTO	VARIABLE	UNIDAD	RANGO OPERACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
SOPORTE Y POSICIONAMIENTO	Servomotores	Amperaje	A	Ejes X y Z 5 - 14,1 Max Eje Y 5,6 - 17,6 Máx.	Voltímetro
		Velocidad Máxima	RPM	Ejes X y Z 0 - 4500 Máx. Eje Y 0 - 3000 Máx.	Tacómetro
	Motor del husillo	Voltaje	V	210 - 230	Voltímetro
		Velocidad Máxima	RPM	0 - 6000	Tacómetro
	Centro del husillo	Posición	mm	Eje X 0 - 448 Eje Y 0 - 510 Eje Z 0 - 340	Flexómetro
	Chasis	Nivelación	mm/m	0,04	Nivel de precisión

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Variables metrológicas en el subsistema eléctrico

SUB-SISTEMA	ELEMENTO Ó PUNTO	VARIABLE	UNIDAD	RANGO OPERACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
ELÉCTRICO	Entrada al contactor principal	Voltaje	V	210 - 230	Voltímetro
	Entrada de los drivers de los servomotores	Voltaje	V	210 - 230	Voltímetro
	Fusibles	Continuidad	N/A	N/A	Voltímetro
	Gabinete principal	Temperatura	°C	Ta + 10	Cámara termográfica
	Entrada del variador y de los drivers	Armónicos	THD (Distorsión armónica total)	N/A	Fluke
			DF (Factor de distorsión)	N/A	

Fuente: Elaboración propia

Para el subsistema eléctrico, se entrevistó a un ingeniero eléctrico y este recomienda realizar una medición de calidad de energía con un Fluke, para conocer las distorsiones armónicas de la onda (Agredo, 2012)

Tabla 14. Variables metrológicas en el subsistema de seguridad

SUB-SISTEMA	ELEMENTO Ó PUNTO	VARIABLE	UNIDAD	RANGO OPERACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
SEGURIDAD	Sensores	Voltaje	V	N/A	Probador de sensores

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Variables metrológicas en el subsistema de refrigeración

SUB-SISTEMA	ELEMENTO Ó PUNTO	VARIABLE	UNIDAD	RANGO OPERACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
REFRIGERACIÓN	Motobomba	Caudal	LPM	0,12 - 0,125	Caudalímetro
		Presión	m.c.a.	38 - 40	Presostato
		Voltaje	V	105 - 115	Voltímetro
		Corriente	A	5,5 Máx.	Voltímetro
	Tanque almacenamiento refrigerante	Volumen	Litros	80 - 95	Recipiente graduado con escala de volumen

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Variables metrológicas en el subsistema de control

SUB-SISTEMA	ELEMENTO Ó PUNTO	VARIABLE	UNIDAD	RANGO OPERACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
CONTROL	Tarjeta de control Grex 100	Voltaje	V	12/24	Voltímetro
	Tarjeta de interfaz	Voltaje	V	12	Voltímetro

Fuente: Elaboración propia

## 6. PROVEEDORES DE MANTENIMIENTO Y RECAMBIOS

Con una investigación exhaustiva en el mercado local de proveedores de mantenimiento, se encuentra que existen muy pocas empresas dedicadas al servicio de mantenimiento de maquinaria CNC. Las pocas empresas que poseen este tipo de máquinas, realizan su propio mantenimiento y en la mayoría de ocasiones deben realizar pedidos de repuestos al exterior, lo que se traduce en un mayor tiempo de paro de la máquina con mayores costos.

Existen algunas empresas que ofrecen el servicio en representación de marcas extranjeras que importan fresadoras, tornos y centro de maquinado CNC como lo hace la empresa Exportamérica de Colombia S.A. Esta empresa también comercializa repuestos que en determinado caso se podrían adaptar para nuestra máquina.

Ofrecen mordazas mecánicas e hidráulicas, cambiadores automáticos de herramientas, conos del eje porta fresas bajo norma ISO 40 DIN 69871, palpador electrónico de centrado, cabezales, extractores de viruta, etc. Su página web es [www.exportamericadecolombia.com](http://www.exportamericadecolombia.com) y están en la ciudad de Bogotá.

CNC Tools es una empresa colombiana que se dedica a la comercialización de herramientas y equipos para industria metalmecánica especializada en CNC, poseen un portafolio de productos dividido en tres grupos:

- Herramientas Intercambiables: insertos en metal duro y en carbono de tungsteno para desbaste, acabado, roscado, ranurado, tronzado, cerámicas, etc. Brocas y fresas escariadoras en acero rápido y metal duro, punta plana y punta redonda. Portaherramientas exteriores e interiores, barras, sistemas de tronzado, etc.

- Maquinaria y equipo: centros de mecanizado vertical de CNC, tornos y fresadora CNC
- Otros: refrigerantes sintéticos e instrumentos de medición

Esta empresa se encuentra en Bogotá, Colombia y su página web es [www.cnctoolscolombia.com](http://www.cnctoolscolombia.com)

Servi Control Numérico Ltda. es una empresa de servicio técnico de mantenimiento preventivo y correctivo a maquinaria de control numérico además venden maquinaria CNC nueva y usada. Venden repuestos Fanuc, Mitsubishi y otras partes especializadas. Se encuentran en Bogotá, Colombia en la Cra 81 # 8 D 14 sus teléfonos son (1)4003327 y Cel. 3156486616

Otros de sus servicios son:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.
- Reparación de tarjetas electrónicas o intercambio.
- Venta de repuestos eléctricos, electrónicos y partes CNC.
- Programación.
- Venta de maquinaria CNC nueva y usada
- Instalación y puesta a punto.
- Traslado de maquinaria entre: Secciones, dentro y fuera de la ciudad.

El valor de la hora de servicio es: \$ 80.000 + IVA por técnico con un horario de servicio es de 7:00 am - 6:00 pm y para mantenimiento preventivo el valor horario de \$ 70.000 + IVA por técnico.



En cotización adjunta en los anexos se encuentra más información, sobre contactos, referencias, campos de acción, horarios, costos de servicio y condiciones de contratación.

Rexcotools es una empresa que presta en servicio de venta, suministro y comercialización de todo lo que se relaciona con maquinaria para fresado y torneado, su campo de acción se basa en maquinaria CNC, venta de software CAD/CAM, fresadoras, portaherramientas, refrigerantes, brocas, insertos, machos, etc. Aunque no es su especialidad cuentan con un técnico de servicio para mantenimiento de maquinaria CNC cuyo costo por hora de \$80.000 más IVA sin sobrecostos de traslados, hoteles y alimentación como sucede con otros proveedores ya que cuentan con personal en la ciudad de Medellín y están ubicados en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas del Edificio de Ingeniería de la Universidad Eafit.

Ilustración 20. Oficinas de Rexcotools en Eafit



Fuente: Elaboración propia

En entrevista con el técnico de servicio Víctor Gómez Rodríguez del miércoles 22 de febrero de 2012, se indaga sobre los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivos ofrecidos por la empresa Rexcotools

Para el momento de la entrevista el técnico de servicio realiza un mantenimiento correctivo al torno CNC marca Miltronics ubicado en el Taller de Máquinas y Herramientas, el cual presenta ruido extraño en el husillo debido al fin de vida útil de sus rodamientos, los cuales se reemplazan, además se aprovecha para cambiar los rodamientos de la bomba del sistema hidráulico y los oring del pistón hidráulico que se encarga de la recepción de la pieza torneada.

Dentro de un mantenimiento preventivo realizado por la empresa Rexcotools se tiene:

- En el subsistema eléctrico, dentro del gabinete, se verifican conexiones, voltajes, contactos, estado físico de cables en general, voltaje de fuentes
- Se verifican con comparadores, la perpendicularidad y paralelismo
- Se verifican las holguras de los tornillos de bolas, además que no presenten sonidos extraños o limalla que indique su desgaste, si es necesario se cambian, una indicación de que estos tornillos se encuentran deteriorados es que la máquina pierde precisión.
- Se verifica la tensión de las correas de transmisión, si son varias correas se debe tener la misma tensión para evitar ruidos extraños
- Se revisa la unidad centralizada de lubricación, que el aceite llegue a cada punto de lubricación y que las válvulas no se encuentren taponadas, para este subsistema de lubricación se utiliza un aceite Vactra #2 o su equivalente a ISO 68.
- Para la unidad hidráulica se recomienda el cambio de aceite cada 6 meses
- Si el cliente lo requiere se realizan actualizaciones de software.
- Se realiza una medición de nivel con niveles de precisión

- Se revisan niveles de aceite y refrigerante
- Para este tipo de mantenimiento se tiene un tiempo estimado de aproximadamente 2 días dependiendo de la complejidad de la fresadora y de las condiciones en que se encuentra
- Indagando sobre las partes que más tienden a fallar dentro las máquinas CNC, se encuentran los sensores y servomotores cuya falla más común es el contacto con agua (Gómez, 2012)

Ilustración 21. Mantenimiento correctivo a torno CNC realizado por Rexcotools



Fuente: Elaboración propia

Otra empresa importante en el mantenimiento de maquinaria CNC, se trata de HERRATEC, quienes ofrecen un gran respaldo en cuanto a mantenimiento de máquinas herramientas CNC, con mantenimiento preventivo, capacitaciones e instalación, además tienen una amplio portafolio en la venta de herramientas de corte, accesorios, instrumentos de medición y verificación, fluidos y refrigerantes. Esta empresa cuenta con el conocimiento y herramienta necesaria para brindar un buen servicio de mantenimiento, además se encuentran en la ciudad de Medellín, Carrera 48 # 39 – 4 PBX 262 6069, sitio web [www.herratec.com.co](http://www.herratec.com.co)

## 6.1 MANTENIMIENTO ACTUAL APLICADO A LA FRESADORA MFG

Actualmente, el Laboratorio de Mecatrónica cuenta con un plan de actividades de mantenimiento que se realizan de forma periódica a la fresadora CNC, además cuenta con unas actividades de control en puntos específicos de la máquina, como se muestra a continuación:

Tabla 17. Cronograma de mantenimiento actual para la fresadora CNC

Puntos de Control	ACTIVIDADES A EJECUTAR	CONTROL
1	GUIAS: Lubricación de guías de cada eje con lubricante 556	Quincenal
2	Pruebas de movimiento y calibración de cada eje	Mensual
3	Limpieza de depósito de líquido refrigerante y su respectivo filtro	Mensual
4	Mantenimiento de herramienta	Mensual
5	Realizar backup de información del computador de control	Mensual
6	Limpieza general de la máquina	Quincenal
7	Verificación eléctrica, sensórica y motores	Mensual
8	Mantenimiento de bomba de taladrina	Mensual
9	Limpieza y mantenimiento de aspiradora	Trimestral

Fuente: Laboratorio de Mecatrónica Universidad EAFIT

## 6.2 REPARACIONES MÁS FRECUENTES EN FRESADORAS CNC

Un proveedor de mantenimiento, debe garantizar como mínimo en la parte mecánica la capacidad de suplir una reparación de los componentes más generales de la fresadora y debe contar con la herramienta necesaria para realizarlo.

Al realizar indagaciones sobre las averías más comunes en la parte mecánica de una fresadora CNC se determinó, como las partes y mecanismos de más susceptibilidad a fallar como las siguientes:(Reparacio de Maquine Joal)

1. Cambio de rodamientos en los cabezales.
2. Sustitución de los rodamientos del motor cabezal.
3. Geometría y alineamiento de los cabezales y torretas.
4. Nivelación (uso de niveles de precisión)
5. Cambios o reparación de los husillos de bolas y sustitución de los rodamientos, situados en los extremos de los husillos.
6. Sustitución de correas del cabezal.
7. Reajuste de reglas cónicas de los carros.
8. Rectificado y rasqueteado de la bancada, ejes Z y X.
9. Reparación del sistema de giro de las herramientas motorizadas.
10. Cambio de los dosificadores de engrase.
11. Modificación del sistema de engrase manual, con grasa, por sistema automático de aceite de engrase.
12. Limpieza y petroleado de depósitos de aceite y taladrina

#### 6.2.1 Reparaciones en la fresadora MFG

Debido a la caída de una fase en la conexión eléctrica que alimenta la fresadora MFG, esta recalienta la bobina del contactor principal, lo que afecta el esmalte que cubre dicha bobina y esto deja fuera de servicio, por lo que se recurre a su cambio.

Se realizan mediciones de resistencia eléctrica a la bobina defectuosa y estas arrojan un resultado en su medición de  $0\ \Omega$  mientras que la bobina nueva indica una resistencia eléctrica de  $103.4\ \Omega$  lo cual muestra una falla debido al

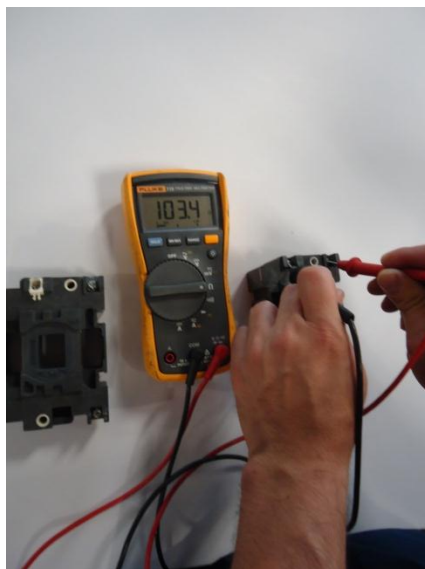
recalentamiento de su esmalte, esto se traduce en la pérdida de generación del campo magnético que acciona el contactor.

Ilustración 22. Bobina izquierda sin resistencia (bobina defectuosa)



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23. Medición de resistencia eléctrica a bobina derecha (nueva)



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, mientras se reconoce el sub-sistema de control, se detecta una falla en la tarjeta que controla el sentido de movimiento del motor del husillo (en sentido de las manecillas del reloj CW o en contra de las manecillas del reloj CCW) esta tarjeta se encarga de convertir una señal de pulso y dirección en señales CW o CCW para una mejor comunicación con el variador de frecuencia.

Luego de realizar la inspección, se encuentra una falla debido a sobre-voltaje, ya que esta tarjeta opera con un voltaje de 12 voltios y la capacidad de los relees que están instalados son de 5 voltios, lo que genera un recalentamiento que también afecta el regulador, dos resistencias, el diodo y el transistor que suichea las bobinas de los relees. Esta falla se relaciona con una falla humana ya que no se verifica la capacidad de voltaje de los relees a la hora de la instalación

Ilustración 24. Falla en tarjeta controladora del sentido de movimiento



Fuente: Elaboración propia

### 6.3 LUBRICACIÓN ADECUADA PARA FRESADORA MFG

Un programa periódico de lubricación para la fresadora MFG juega un papel decisivo en cuanto a su correcto funcionamiento, confiabilidad y ciclo de vida. Es esencial en cualquier máquina CNC que sus partes móviles sean correctamente lubricadas con los lubricantes adecuados, dependiendo de las necesidades de viscosidad, frecuencia, cantidad y condiciones del entorno, para así aumentar productividad de la máquina y reducir costos de reparaciones

Para la fresadora CNC se diseñará un plan de mantenimiento preventivo en donde la lubricación de partes móviles tales como guías lineales, husillos, rodamientos y mecanismos que requieran lubricación, entre otros, se tienen en cuenta para realizar este programa periódico de lubricación.

Tabla 18. Matriz de lubricación fresadora MFG

PUNTO DE LUBRICACIÓN	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FRECUENCIA	ACEITE/GRASA RECOMENDADA	CANTIDAD
Guías de desplazamiento	manual	semanal	BP : CS 68 Shell : Tellus 68 Mobil Vactra #2	Impregnar todo el área de la guía
Rodamientos del motor	manual	semestral	Aeroshell grase 16	4 cc/rodamiento
Refrigerante	bomba eléctrica	revisar nivel	Taladrina 1:10	Según capacidad de tanque 90 lts
Pivote de puerta	spray	semanal	WD 40	5 cc

Fuente: Elaboración propia

Para la lubricación de bancadas, guías, colisas y columnas de máquinas herramientas se deben utilizar lubricantes que puedan ser sometidos a cargas elevadas y fuertes desplazamientos.



Se debe buscar un lubricante formulado con bases de alta calidad y con aditivo que posean buenas características de adhesibilidad y protección contra la herrumbre. Estas propiedades se deben combinar para eliminar operaciones erráticas y vibraciones bajo condiciones de lubricante límite, a película delgada, esto permite una operación suave y uniforme, aún a velocidades muy bajas como las de operación de la fresadora MFG

El aceite base con sus aditivos debe proteger las guías y proveer una buena filtrabilidad, mientras que los agentes adhesivos deben formar películas uniformes que resistan el desplazamiento del lubricante cuando la fresadora MFG no esté operando, previniendo el desgaste y asegurando una mayor vida útil. (Mobil)

Algunas características que el lubricante debe cumplir son las siguientes:

- Eliminación parcial de la operación errática y la vibración.
- Elevada resistencia a la oxidación
- Alta precisión, aún con velocidades muy bajas.
- Excelente protección antidesgaste.
- Excelente protección contra el herrumbre y la corrosión, aún en presencia de refrigerantes acuosos.
- Excelente filtrabilidad y desmulsibilidad.
- Apto para aplicaciones de doble propósito.
- Excelente adhesividad que impide que el aceite se escurra.

A continuación se describen las características técnicas del lubricante Mobil Vactranúmero 2 y Shell Tellus 68 que se deben emplear en la lubricación de la fresadora MFG

Tabla 19. Características técnicas MobilVactra #2

Ensayo	Método ASTM-D	Valores	
		Nº 2	Nº 4
Producto			
Grado ISO	-----	68	220
Densidad a 15 °C, gr/cm3	1298	0.884	0.894
Punto de inflamación, °C	92	218	250
Punto de escurrimiento, °C	97	-9	-9
Viscosidad a 40 °C, cSt	445	68	220
Viscosidad a 100 °C, cSt	445	8.6	19
Índice de viscosidad	2270	95	95
Ensayo de herrumbre	665	Pasa	Pasa
Corrosión en lámina de cobre	130	1b	1b

Fuente: Química-Petroil

Tabla 20. Características técnicas Shell Tellus 68

Shell Tellus® Oil	Shell Tellus® Oil 22	Shell Tellus® Oil 32	Shell Tellus® Oil 46	Shell Tellus® Oil 68	Shell Tellus® Oil 100
<b>Viscosidad Cinemática</b>					
@ 0°C cSt	180	338	580	1040	1790
40°C cSt	22	32	46	68	100
100°C cSt	4.3	5.4	6.7	8.6	11.1
(IP 71)					
<b>Índice de Viscosidad</b> (IP 226)	100	99	98	97	96
<b>Densidad @ 15°Ckg/l</b> (IP 365)	0.866	0.875	0.879	0.886	0.891
<b>Punto de inflamación°C</b> (Pensky-Martens Closed Cup) (IP 34)	204	209	218	223	234
<b>Punto de escurrimiento °C</b> (IP 15)	-30	-30	-30	-24	-24

Fuente: NSK

Como se observa en las tablas, ambos lubricantes poseen características similares y son adecuados para la lubricación de la fresadora MFG.

#### 6.4 REPUESTOS COMERCIALES

Actualmente el Laboratorio de Mecatrónica cuenta con un listado de los repuestos para toda la parte eléctrica y electrónica de la fresadora. Se trata de un listado de partes con un número de parte, código, descripción, referencia, marca, página web (ésta se obvió por espacio), además este listado facilita la búsqueda de los repuestos de manera que se encuentren rápidamente, ya que están debidamente identificados, si se requiere esta información de repuestos eléctrico y electrónicos se puede consultar en la documentación del Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Eafit.

Para la adquisición de repuestos de la parte mecánica de la fresadora, se buscan proveedores de componentes mecánicos especializados como GRAINGER y MISUMI que está en la capacidad de proporcionar piezas estándar o configurables a la fresadora MFG.

Con estos dos proveedores, se suple la necesidad de encontrar una línea muy completa de componentes de automatización, donde se pueden adquirir repuestos como motores, servomotores, apoyos anti-vibración de la estructura, guías lineales de desplazamiento, husillos de bola, acoples de motor, poleas, correas, dispositivos de amarre de piezas, insertos, portaherramientas, etc.

En la ciudad de Medellín existe un punto venta GRAINGER ubicado en la Cra 65 No 50-12 teléfono 4440010.

## Ilustración 25. Línea de automatización industrial MISUMI



### Our Products

- Linear Motion
- Rotary / Transmission Components**
- Locating Components
- Inspection Components
- Industrial Materials
- Hydraulic / Pneumatic / Temperature Controller Components
- Aluminum Extrusion Components
- Hardware
- Springs / Shock Absorbers
- Antivibration / Soundproof / Antistatic / Safety Protection Products
- Structural Components

### Technical Tutorial

This is a mechanical LCA tutorial course of the mechanisms, driving power system, and the

The technologies unique to surface treatment such as electroplating, film coating, etc. are

									
Rotary Shafts	Bearings	Cam Follower	Pillow Blocks	Bearing Hardware	Roller Followers	Bearings with Housings	Cantilever Shafts	Precision Pivot Pins	Fulcrum Pin
									
Couplings	Timing Pulleys / Idlers	Timing Belts	Keyless Bushings	Round Belts	Pulleys for Round Belts	Idlers for Round Belts	Flat Belts	Pulleys for Flat Belts	Idlers for Flat Belts
									
Rollers/ Conveyor Components	Gears	Sprockets / Chains	Conveyors/ Roller Carriers						

Sep 29, 2011

New Miniature Conveyors Expand Product Line

Fuente: <http://us.misumi-ec.com/mech/>

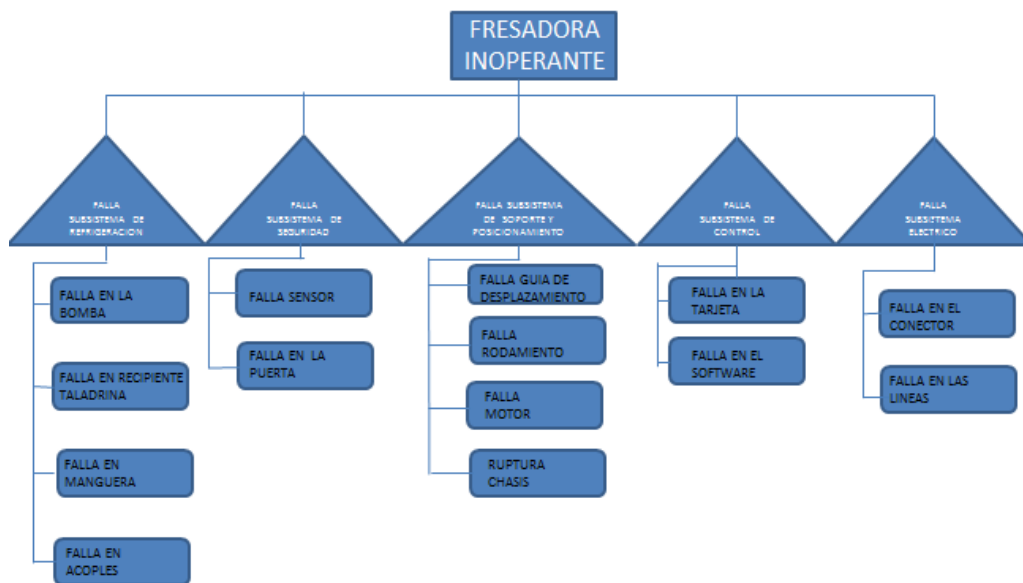
## 7. ANÁLISIS DE FALLAS, AJUSTES Y PUESTA A PUNTO

Cuando una falla se presenta, lo primero que el operario debe realizar es inspeccionar el estado visual de la fresadora MFG con el objetivo de buscar alguna anomalía que pueda indicarnos un cambio en algún aspecto de funcionamiento básico, también es importante de cerciorarse que los paros de emergencia no estén activados.

### 7.1 ÁRBOL DE FALLA

El árbol de fallas representa esquemáticamente el origen específico de una falla, utilizando los datos del análisis FMEA. Con esto se puede observar el origen posible de una falla y como afecta a los diversos subsistemas.(Engaña, y otros, 2006)

Ilustración 26. Árbol de fallas fresadora MFG



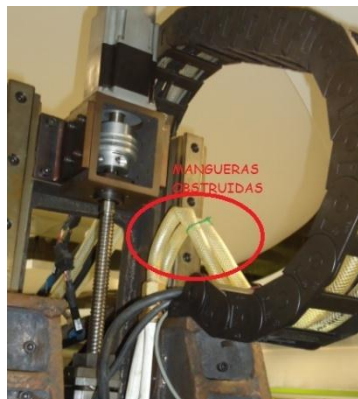
Fuente: Elaboración propia

Para la metodología que se utiliza en la descripción de las fallas más comunes, se tiene una clasificación numérica de la gravedad de la falla, esta se basa en un criterio que tiene como rango de 0 a 15, siendo 15 la mayor gravedad para el tipo de falla, ya que involucra aspectos de seguridad al operario o daños graves con tiempos de reparación largos de la máquina. Se determina que cada uno de las fallas presentadas en el subsistema de seguridad son máximos, ya que estos involucran la seguridad del operario y de la operabilidad de la máquina al poderse presentar una posible falla catastrófica, mientras que una falla mínima es clasificada en la escala con un 5, debida a una desconexión, ya que solo implica una pequeña búsqueda de su causa raíz y no implica la compra de repuestos, defectos en el fresado, etc.

#### 7.1.1 Fallas comunes en el subsistema de refrigeración

En la actualidad este subsistema presenta fallas en cuanto a la obstrucción de sus mangueras debido a aplastamiento de estas, se debe reconfigurar su recorrido de tal manera que presente un mínimo de curvas donde no se pueda presentar obstrucción del paso del fluido refrigerante.

Ilustración 27. Mangueras obstruidas en subsistema de refrigeración



Fuente: Elaboración propia

Este subsistema se encuentra clausurado en la máquina actualmente debido a las fallas de obstrucción del paso del líquido refrigerante que se presentan en las mangueras como se menciona anteriormente, además de del derramamiento de este líquido refrigerante por la puerta. Para resolver este problema de derrame, se debe construir una guarda más inclinada que no permita el paso del líquido refrigerante y se debe generar mayor desnivel para obtener un mejor drenaje hacia el tanque de líquido refrigerante. Es importante realizar una correcta selección de los empaques de la puerta para impedir la fuga del líquido refrigerante.

Ilustración 28. Ausencia de empaque en puerta



Fuente: Elaboración propia

Para realizar un análisis detallado de fallas, se construye una tabla con los principales modos de falla y se proporciona una clasificación de gravedad de la falla en donde se tiene en cuenta que aquellas fallas que involucran accidentes, lesiones y o muerte son más críticas. Vale la pena recordar que este tipo de análisis de fallas se centra en consecuencias de tipo de falla mecánico y/o

lesiones humanas y no en consecuencias de imperfectos en el proceso de manufactura, tratados en otro tema.

Tabla 21. Fallas comunes en subsistema de refrigeración

IDENTIFICACIÓN SUB-SISTEMA	IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	FUNCIÓN	MODOS DE FALLA	CAUSAS	DAÑOS		MÉTODOS DE DETECCIÓN	ACCIONES CORRECTIVAS	CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD (1-25)
					EFFECTOS LOCALES INCIDENTE	EFFECTOS FINALES ACCIDENTE			
sub-sistema de refrigeración	recipiente de fluido refrigerante	almacenar refrigerante	ruptura	golpe	derrame de refrigerante	posible accidente	revisión visual	cambiar/ reparar contenedor	15
					cavitación bomba	destrucción bomba	revisión visual	cambiar/ reparar bomba/ contenedor	10
	mangueras	transportar refrigerante	ruptura	falla en material/ roce	derrame de refrigerante	posible accidente	revisión visual	cambiar	15
			obstrucción	doble de manguera	cavitación bomba	destrucción bomba	revisión visual	revisar recorrido/ cambiar material	10
	bomba	levantar presión	obstrucción	viruta en refrigerante/succión taponada	cavitación bomba	destrucción bomba	vibración sonido	cambiar malla que impide el paso de viruta	10

Fuente: Elaboración propia



### 7.1.2 Fallas comunes en el subsistema de seguridad

Es importante verificar el correcto funcionamiento de los sensores de final de carrera porque de estos depende que la herramienta no se choque. Por otra parte el sensor de apertura de puerta, actualmente no opera lo que significa que la fresadora puede usar con la puerta abierta, esto se traduce en un gran riesgo de accidente por parte del operador.

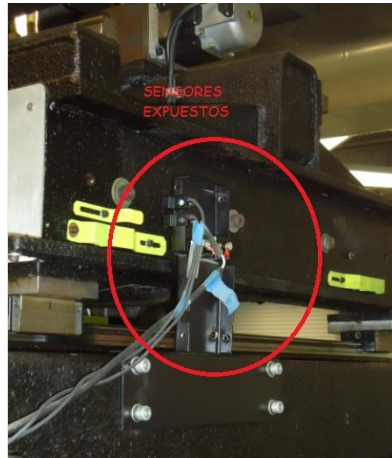
Tabla 22. Fallas comunes en subsistema de seguridad

IDENTIFICACIÓN SUB-SISTEMA	IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	FUNCIÓN	MODOS DE FALLA	CAUSAS	DAÑOS		METODOS DE DETECCIÓN	ACCIONES CORRECTIVAS	CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD (1-25)
					EFFECTOS LOCALES INCIDENTE	EFFECTOS FINALES ACCIDENTE			
sub-sistema de seguridad	sensor apertura de puerta	detener fresadora	no sensa	fin de vida útil	activación con puerta abierta	posible accidente	rutinas de mantenimiento	cambiar sensor	15
			mal montaje	error humano	activación con puerta abierta	posible accidente	metrología	verificar montaje	15
	sensor fin de carrera	detener desplazamiento	no sensa	fin de vida útil	sobrepaso del límite de carrera	choque de herramienta	rutinas de mantenimiento	cambiar sensor	15
			mal montaje	error humano	activación con puerta abierta	choque de herramienta	metrología	verificar montaje	15
	acrílico de seguridad	detener viruta	ruptura	golpe	desprendimiento de viruta	posible accidente	revisión visual	cambiar	15
	puerta	proteger proceso de fresado	desajuste (colgada)	mal diseño	derrame de refrigerante	posible accidente	revisión visual	rediseñar	15

Fuente: Elaboración propia

Es recomendable proteger con una guarda de seguridad el área donde se encuentran los sensores del final de carrera, ya que sus cables se encuentran bastante expuestos. Además es importante comprobar el funcionamiento de las platinas que activan los sensores de final de carrera y de home ya que estas se pueden doblar fácilmente y no activar los sensores.

Ilustración 29. Sensores expuestos



Fuente: Elaboración propia

Se debe pensar en un rediseño de la puerta ya que el mecanismo de barras que la soporta, tiene un apoyo mínimo.

Ilustración 30. Mecanismo de apertura de puerta



Fuente: Elaboración propia

En la ilustración anterior se muestra el sensor inductivo de apertura de puerta que en este momento se encuentra inoperante, además se muestra el mecanismo de apertura de puerta en donde el propio peso de la puerta sumado a la palanca que genera su extensión, se traduce en un colgamiento de la puerta que dificulta el cierre.

#### 7.1.3 Fallas comunes en el subsistema de soporte y posicionamiento

Este es el subsistema más crítico de la fresadora, en donde se lleva a cabo el proceso de fresado, es el subsistema en donde se encuentran motores, servomotores, guías de desplazamiento, chasis, columna y todo el sistema de transmisión de potencia.

En este momento el subsistema presenta ruidos entre la correa y la polea que transmite la potencia al husillo por parte del motor del husillo, debido a desalineación y desbalanceo en la polea, esto puede generar desgaste prematuro de la correa y posible ruptura en poco tiempo. Para esta causa raíz de falla futura se recomienda balancear y o cambiar la polea, verificar alineación entre ejes y se

debe replantear el diseño de este mecanismo de polea ya que es muy poca la distancia entre ejes del motor y la polea

Ilustración 31. Transmisión por correa del husillo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Fallas comunes en subsistema de soporte y posicionamiento

IDENTIFICACIÓN SUB-SISTEMA	IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	FUNCIÓN	MODOS DE FALLA	CAUSAS	DAÑOS		METODOS DE DETECCIÓN	ACCIONES CORRECTIVAS	CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD (1-25)
					EFFECTOS LOCALES INCIDENTE	EFFECTOS FINALES ACCIDENTE			
sub-sistema de soporte y posicionamiento	estructura/ chasis	soportar	desnivel	defecto de montaje	imperfectos en el proceso de fresado	defectos en el fresado	metrología	reposicionar montaje	15
					vibraciones/ desbalanceo	fractura de herramienta/ sobre esfuerzos	análisis de vibraciones	reposicionar montaje	15
	guías lineales	guiar	desajuste	vibraciones/ montaje	recalentamiento de motores	atascamiento/ defectos en el fresado	metrología	cambio, alineación o reposiciona. miento	15
	motor y servomotores	posicionar	conexión defectuosa	error humano	quema del motor/ corto circuito	paro de emergencia	instrumentación electrónica	cambio de motor	15
			corto circuito	sobrecorriente	quema del motor	paro de emergencia	instrumentación electrónica	cambio de motor	10
	mesa	soportar	desnivel	defecto de montaje	imperfectos en el proceso de fresado	defectos en el fresado	metrología	reposicionar montaje	15
					vibraciones/ desbalanceo	fractura de herramienta/ sobre esfuerzos	análisis de vibraciones	reposicionar montaje	15

Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.4 Fallas comunes en el subsistema de control

En este subsistema se encuentra la tarjeta de control y una tarjeta de interfaz que comunica con mayor eficiencia el sentido de giro del motor del husillo con el variador que lo controla. En este momento esta tarjeta se encuentra inoperante como se indicó en el capítulo de reparaciones en la fresadora MFG.

Tabla 24. Fallas comunes en subsistema de control

IDENTIFICACIÓN SUB-SISTEMA	IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	FUNCIÓN	MODOS DE FALLA	CAUSAS	DAÑOS		METODOS DE DETECCIÓN	ACCIONES CORRECTIVAS	CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD (1-25)
					EFFECTOS LOCALES INCIDENTE	EFFECTOS FINALES ACCIDENTE			
sub-sistema de control	driver	controlar servomotores	desconexión	conexión defectuosa	servomotores desenergizados	ejes inmóviles	visual	conectar correctamente	5
			recalentamiento	alta temperatura en el gabinete	incorrecta operación de servomotores	daño en el driver por exceso de temperatura	termografía	rediseñar el sistema de ventilación del gabinete	10
	tarjeta de interfaz	controlar sentido de giro	sobrevoltaje	desconocida	quema de componentes	inoperabilidad del husillo	mediciones de voltaje	revisar voltaje que llega de la fuente	15
	tarjeta de control g-rx-100	controlar movimiento	mala programación	falla humana	descontrol del movimiento	choque/ acabados defectuosos/ inoperabilidad	pruebas y/o simulaciones	revisión minuciosa de programación	15

Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.5 Fallas comunes en el subsistema eléctrico

Debido a la pérdida de una fase en el edificio de ingenierías donde se encuentra la fresadora, se genera un recalentamiento en la bobina que pertenece al contactor principal, lo que lo deja fuera de servicio.

Ilustración 32. Cambio de bobina contactor principal



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Fallas comunes en subsistema eléctrico

IDENTIFICACIÓN SUB-SISTEMA	IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	FUNCIÓN	MODOS DE FALLA	CAUSAS	DAÑOS		MÉTODOS DE DETECCIÓN	ACCIONES CORRECTIVAS	CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD (1-25)
					EFFECTOS LOCALES INCIDENTE	EFFECTOS FINALES ACCIDENTE			
sub-sistema eléctrico	contactor	establecer o interrumpir el paso de corriente	circuito interrumpido	bobina quemada por pérdida de fase	bobina no genera campo magnético para permitir paso de corriente	fresadora inoperante	revisión de voltaje entre fases/ termografía	cambio de bobina de contactor/ contactor completo	10
				bobina quemada por conexión defectuosa	bobina no genera campo magnético para permitir paso de corriente	fresadora inoperante	revisión de voltaje entre fases/ termografía	cambio de bobina de contactor/ contactor completo/ ajustar conexión de cableado	10
	fusible	proteger circuito eléctrico	sobrecarga/ cortocircuito	pérdida de fase	se interrumpe flujo eléctrico en el circuito	fresadora inoperante	revisión visual o revisión de continuidad	cambio del fusible/ ajustar conexión de cableado	10
	conector principal	conectar	pérdida de conexión a tierra	mal montaje de la red eléctrica	descarga eléctrica en componentes de la fresadora	fresadora inoperante	revisión de conexiones eléctricas de la red	revisar la conexión a tierra de la instalación	15

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 AJUSTES VERIFICACIÓN Y PUESTA A PUNTO

Con este tipo de procedimientos, lo que se propone es dejar en óptimo estado de toda la fresadora, conocer cuales actividades se deben realizar para poder llegar a obtener una gran confiabilidad de la máquina, además como su nombre lo indica lo que se propone es poner a punto la fresadora MFG con apoyo de la información sobre características y procedimientos metrológicos, además de las consecuentes verificaciones que arrojan información valiosa para conocer el verdadero funcionamiento del equipo



### 7.2.1 AJUSTES

Es importante realizar un reapriete general de tornillería en el subsistema de soporte o chasis, ya que se encuentran varios tornillos desapretados, además sería bueno aplicarles traba rosca para impedir que se desaprieten nuevamente

En cuanto al subsistema de seguridad, es recomendable instalar un sensor de nivel de refrigerante en el subsistema de refrigeración, ya que el tanque no cuenta con este tipo de sensor que ayuda a prevenir fallas debido al uso de la bomba sin refrigerante. Este sensor se conecta con el sistema de control para que informe al operario por medio de la interfaz con el computador de que el nivel no se encuentra en su punto adecuado y así adicione el refrigerante necesario

### 7.2.2 VERIFICACIÓN DE UNA FRESADORA

La verificación geométrica de una fresadora requiere los siguientes ciertos controles geométricos, se realizan modificaciones a las verificaciones presentadas por el autor Lucchesi, ya que estas apuntan a una fresadora con eje paralelo a la mesa, de esta forma algunas verificaciones que son paralelas se convierten en perpendiculares y viceversa, además solo se presentan las verificaciones más relevantes

Se realiza una verificación con patrones metrológicos como escuadras además de comparadores de caratula y como la mesa de la fresadora no resulta apta para la medición, se utilizaron dos placas rectificas para poder generar una correcta referencia de nivel en la máquina a la hora de tomar las mediciones.

Se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Se verifica la planitud de la mesa, realizando un mediciones alrededor de la mesa en forma circular, tomando como punto de referencia el cabezal de fresado donde se instala el soporte magnético del comparador de caratula. Se toma en cuenta la medición del comparador de caratula más alta obtenida y la más baja obtenida, esta resta arroja el resultado del error encontrado.

Medición mayor= 4.00 mm

Medición menor= 3.476 mm

Error= Medición mayor - Medición menor

Error= 4.00mm - 3.476mm

Error= 0,524 mm

Este resultado se compara con valores de error admisible encontrados en procedimiento de calibración para el Centro de Maquinado Miltronics donde el error admisible declarado es de 0.025mm totalmente a lo largo o ancho de la mesa, lo que se traduce en un desfase del 2100%, esto indica que la mesa de la fresadora se encuentra totalmente fuera de rango admisible

Ilustración 33. Procedimiento de verificación de planitud de la mesa

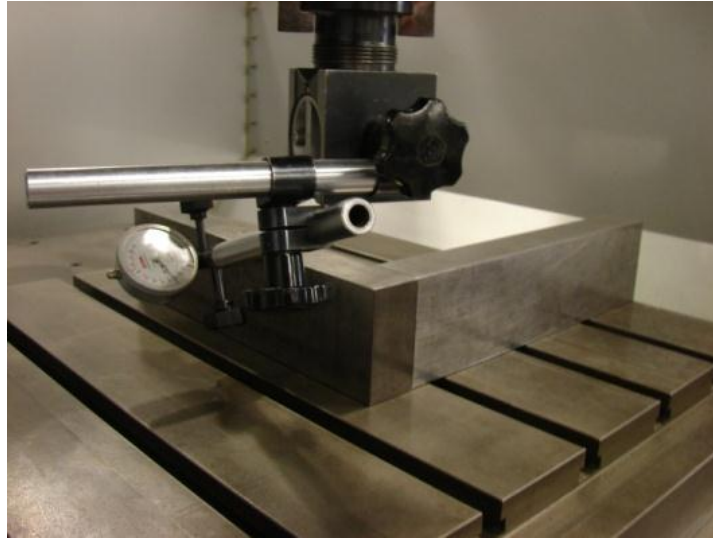


Fuente: Elaboración propia

El procedimiento de verificación de perpendicularidad y paralelismo de la mesa respecto al cabezal de fresado, no se lleva a cabo ubicando la escuadra patrón sobre la mesa como referencia debido a que esta última presenta nivelación inadecuada por su mal montaje, lo que significa una medición sobre una referencia invalida

Este procedimiento se soluciona, utilizando dos placas rectificadas que se montan encima de la mesa para poder obtener mayor precisión en la toma de la medición.

#### Ilustración 34. Placas rectificadas auxiliares



Fuente: Elaboración propia

Las placas auxiliares se ubican a escuadra con los bordes de la mesa, con el objetivo de lograr la mejor posición de estas tanto perpendicularmente como paralelamente frente a las ranuras de la mesa y así lograr una mayor precisión en la medición, todo esto debido a la mala instalación de la mesa y su desnivel.

Se obtienen los siguientes errores.

Error en el eje X es de 0.015 mm en una medición de 170 mm de recorrido

Error en el eje Y es de 0.034 mm en una medición de 170 mm de recorrido

Estas medición se pueden traducir en ángulos de desviación y también se puede observar que la desviación en el eje Y es el doble del eje X,

Error en el eje X es  $0.005^\circ$  (ángulo en grados)

Error en el eje Y es  $0.011^\circ$  (ángulo en grados)

El error admisible es de 0.018 mm por cada 100 mm de longitud, el eje X no tiene ningún problema, pero el eje Y, al realizar la conversión, arroja en una desviación de 0.02 mm por cada 100 mm de recorrido lo que supera en 0.002 el error permitido.

Tabla 26. Procedimientos de verificación en una fresadora

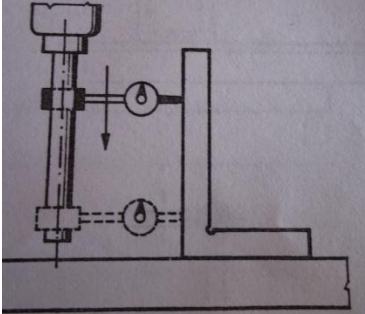
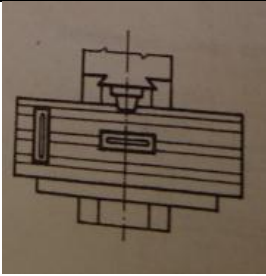
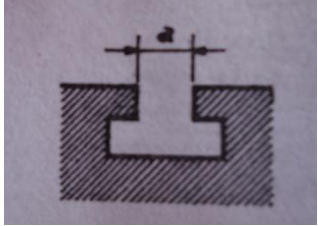
VERIFICACIÓN	Patrones aux./Error admitido
1. Control de la perpendicularidad del mandril a la mesa portaobjetos	 <p>Error admitido:</p>
2. Oscilación del asiento cónico del mandril	<p>cilindro de prueba de 300 mm, Error admitido: junto al extremo del mandril, 0,01 mm; a 300 mm de dicho extremo, 0,025 mm</p>
3. Oscilación transversal del extremo del mandril	<p>Error admitido 0,01 mm</p>
4. Oscilación axial del mandril	<p>Error admitido 0,01-0,02 mm</p>
5. Planicidad longitudinal y transversal de la mesa	 <p>Error admitido 0,025 mm</p>
6. Paralelismo entre la mesa y la dirección de su movimiento longitudinal	<p>Error admitido: 0,02 mm hasta 500 de carrera; 0,01 mm más por cada 500 más de carrera</p>

Tabla 27. Procedimientos de verificación en una fresadora (continuación)

VERIFICACIÓN	Patrones aux./Error admitido
7. Paralelismo entre la mesa y la dirección de su movimiento transversal	cilindro de prueba de 300 mm Error admitido: 0,03 mm/300mm
8. Perpendicularidad entre la mesa y el eje del mandril	cilindro de prueba de 300 mm Error admitido: 0,02 mm/300mm
9. Precisión de las canaladuras de la mesa	 <p>Tolerancia H8</p>

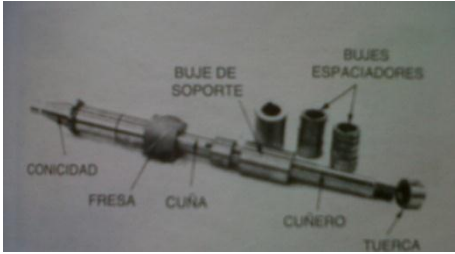

Fuente: Elaboración propia

Todos estos son los principales procedimientos de verificación propuestos por Lucchesi, si se desea mayor información sobre los pasos para cada procedimiento se debe consultar la bibliografía citada (Lucchesi, 1973)

### 7.2.3 PUESTA A PUNTO DE UNA FRESADORA

Antes de efectuar cualquier operación en la fresadora MFG, es importante que la maquina quede correctamente puesta a punto. Una correcta puesta a punto de la maquina prolonga su vida y la de sus accesorios

Tabla 28. Procedimientos de puesta a punto en una fresadora

PROCEDIMIENTO	EFFECTOS
1. Alineación del cabezal vertical	Si el cabezal no está a un ángulo de 90° con la mesa, las perforaciones no están a escuadra con la superficie de la pieza cuando la herramienta de corte avanza automáticamente
2. Montaje y desmontaje de un árbol de fresadora.	<p>Un árbol que se ensambla inadecuadamente puede dañar las superficies cónicas del mismo o del husillo de la máquina, hacer que el árbol se flexione o que la fresa se descentre</p> 
3. Alineación de la mesa en una máquina fresadora	<p>Si la pieza debe maquinarse con precisión en relación con un trazo o tiene cortes a escuadra o paralelos a una superficie, siempre resulta buena práctica alinear la mesa de la fresadora antes de alinear la prensa o elemento de sujeción</p> 
4. Alineación de la prensa de la fresadora	Siempre que la pieza de trabajo requiera de precisión, es necesario alinear el dispositivo que la sujeta, en la fresadora MFG se trata de una prensa con base giratoria

Fuente: Elaboración propia

Si se requiere información adicional o más detallada para este tipo de procedimientos, se debe revisar la bibliografía y allí se encuentran todos los pasos detallados para realizar adecuadamente el procedimiento. (Krar, y otros, 2009)

## 8. FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO

Para lograr una correcta intervención en la máquina, se deben establecer intervalos correctos de mantenimiento, procedimientos con sus respectivas actividades, se debe planear con anticipación su intervención para minimizar costos por paro de producción, además se debe tener en cuenta la utilización del recurso humano con la mano de obra calificada y su disposición, todo esto encaminado a una optimización de recursos y una planificación del trabajo

Para complementar las frecuencias de mantenimiento de la fresadora MFG, se realiza una esquematización por subsistemas toda la máquina, ya que así, se puede identificar más fácilmente todos sus componentes, sus averías y posibles soluciones. La trazabilidad del trabajo que se realiza junto con la responsabilidad del personal que se encarga del mantenimiento, es vital ya que brinda información sobre las actividades de mantenimiento que se realizan en la fresadora.

Es importante resaltar que este tipo de maquina está orientada hacia fines educativos, por lo que su capacidad productiva es menor (aproximadamente un 50%) frente a una fresadora CNC industrial cuyo objetivo es producir la mayor cantidad de tiempo posible. Es por esto que se parte de la premisa que esta trabaja un promedio del 50% de una fresadora CNC para uso industrial y debido a esto las frecuencias de su mantenimiento son más amplias, permitiendo incrementar los intervalos de mantenimiento, ahorrando costos en insumos, mano de obra y permitiendo una mayor disponibilidad



Tabla 29. Frecuencias de mantenimiento subsistema de soporte y posicionamiento

ASEGURAMIENTO DE EQUIPO TALLER DE MECATRÓNICA							
Actualización Marzo de 2012		Plan de mantenimiento			Fresadora CNC marca MFG		
SUBSISTEMA DE SOPORTE Y POSICIONAMIENTO							
#	PUNTOS DE CONTROL	80 HORAS	160 HORAS	320 HORAS	1920 HORAS	3840 HORAS	DESCRIPCIÓN
1	Fresadora en General					X	Reapretar tornillería en general.
2	Chasis					X	Verificar posible agrietamiento y/o fisuras o corrosión en el chasis.
3	Almohadillas antivibración					X	Verificar su sujeción al chasis y estado en general, de ser necesario reemplazar.
4	Cambiador automático de herramienta				X		Verificar correcto funcionamiento del mecanismo.
5	Guías lineales de deslizamiento	X					Lubricar (Vactra #2 - Tellus 68) y verificar correcto funcionamiento de su desplazamiento. Nunca utilizar disolventes para remover suciedad.
6	Husillos de bolas	X					Lubricar (Vactra #2 - Tellus 68) y verificar correcto funcionamiento de su desplazamiento. Además verificar que no exista limaya que indique su desgaste, en este caso de debe reemplazar.
7	Mordazas paralelas	X					Lubricar tornillo de apriete (WD40) y limpiar residuos de viruta.
8	Mesa	X					Limpiar y lubricar su superficie con WD40.
9	Motor del husillo				X		Cambiar grasa de los rodamientos (Aeroshell grase 16) y verificar el estado de estos.
				X			Verificar consumo de corriente del motor en vacío (19.6 A máximo).
				X			Verificar alineación del eje del motor respecto al husillo.
10	Correa transmisora motor husillo			X			Verificar tensión y desgaste.
11	Polea			X			Verificar desgaste y desalineación.
12	Servomotores			X			Verificar consumo de corriente del servomotor Eje X y Z 14,1 A máximo Eje Y 17,6 A máximo
13	Fresa		X				Verificar desgaste.
Encargado:_____							

Supervisión:
Observaciones: _____ _____ _____ _____ _____ _____
<div>Centro de Laboratorios</div> <div>Universidad EAFIT</div>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Frecuencias de mantenimiento subsistema de control

ASEGURAMIENTO DE EQUIPO TALLER DE MECATRÓNICA							
Actualización Marzo de 2012		Plan de mantenimiento			Fresadora CNC marca MFG		
SUBSISTEMA DE CONTROL							
#	PUNTOS DE CONTROL	80 HORAS	160 HORAS	320 HORAS	1920 HORAS	3840 HORAS	DESCRIPCIÓN
1	Software					X	Actualizar si es posible.
						X	Verificar la interfaz entre el software y los controladores por medio Ethernet.
2	Tarjeta de interfaz			X			Verificar correcto funcionamiento para el cambio de sentido de giro de la herramienta.
				X			Verificar contactos y/o posibles cortos, además voltaje de operación (12 V).
3	Tarjeta de control G-REX100			X			Verificar contactos y/o posibles cortos.
4	Drivers			X			Verificar conexiones.
5	Start/Stop		X				Verificar corrector funcionamiento de la parada de emergencia.
Encargado:_____							
Supervisión:_____							
Observaciones:_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
Centro de Laboratorios							
Universidad EAFIT							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Frecuencias de mantenimiento subsistema de seguridad

ASEGURAMIENTO DE EQUIPO TALLER DE MECATRÓNICA						
Actualización Marzo de 2012		Plan de mantenimiento			Fresadora CNC marca MFG	
SUBSISTEMA DE SEGURIDAD						
#	PUNTOS DE CONTROL	80 HORAS	160 HORAS	320 HORAS	1920 HORAS	3840 HORAS
1	Sensor home		X			
2	Sensor final de carrera		X			
3	Protector guardamotor		X			
4	Sensor de puerta		X			
5	Puerta		X			
Descripción: Verificar correcto accionamiento Verificar correcto funcionamiento microsuiche (Que posea una adecuada superficie de contacto). Verificar el apriete de sus tornillos. Verificar su correcta activación al abrir la puerta. Verificar hermeticidad y posibles fugas de refrigerante.						
Encargado: _____ Supervisión: _____  Observaciones: _____ _____ _____ _____ _____ _____						
Centro de Laboratorios Universidad EAFIT						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Frecuencias de mantenimiento subsistema de refrigeración

ASEGURAMIENTO DE EQUIPO TALLER DE MECATRÓNICA							
Actualización Marzo de 2012		Plan de mantenimiento		Fresadora CNC marca MFG			
SUBSISTEMA DE REFRIGERACIÓN							
#	PUNTOS DE CONTROL	80 HORAS	160 HORAS	320 HORAS	1920 HORAS	3840 HORAS	
1	Bomba refrigeración			X			Verificar consumo de corriente (5,5 A a 110 V).
					X		Verificar presión 38 a 40 m.c.a.
					X		Verificar caudal 0,12 a 0,125 LPM.
		X					Inspeccionar correcta succión.
2	Mangueras			X			Verificar hermeticidad, posibles fugas y puntos de obstrucción del fluido refrigerante.
3	Malla filtro	X					Limpiar y verificar su estado.
4	Tanque de almacenamiento refrigerante	X					Verificar nivel mínimo de refrigerante y adicionar el mismo en caso que sea necesario.
				X			Verificar estado y posibles fugas del fluido refrigerante
						X	Cambiar el líquido refrigerante.
Encargado: _____							
Supervisión: _____							
Observaciones: _____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
<p style="text-align: center;">Centro de Laboratorios</p> <p style="text-align: center;">Universidad EAFIT</p>							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Frecuencias de mantenimiento subsistema eléctrico

ASEGURAMIENTO DE EQUIPO TALLER DE MECATRÓNICA							
Actualización Marzo de 2012		Plan de mantenimiento			Fresadora CNC marca MFG		
SUBSISTEMA ELÉCTRICO							
#	PUNTOS DE CONTROL	80 HORAS	160 HORAS	320 HORAS	1920 HORAS	3840 HORAS	DESCRIPCIÓN
1	Gabinete principal				X		Realizar análisis de termografía infrarroja para detectar puntos críticos por altas temperaturas.
2	Contactador principal			X			Verificar voltaje en la entrada del contactor principal (210 V a 230 V).
3	Conexión principal				X		Verificar correcto contacto de las 3 líneas y el neutro.
4	Fusibles			X			Verificar continuidad de los fusibles.
5	Entrada del variador					X	Realizar medición de calidad de energía para conocer posibles distorsiones armónicas de onda.
6	Entrada de los drivers			X			Verificar voltaje de entrada a los drivers de los servomotores.
Encargado:_____							
Supervisión:							
Observaciones:_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							
_____							

Fuente: Elaboración propia

## 9. CONCLUSIONES

Gracias al estudio del estado del arte realizado a proveedores de mantenimiento en la ejecución del primer objetivo, se manifiesta la falta de información sobre empresas dedicadas al servicio de reparación, mantenimiento, repotenciación y rediseño de máquinas herramienta CNC.

Es evidente que muy pocas empresas realizan este tipo de mantenimiento a maquinaria CNC, que no poseen procedimientos estructurados a realizar, que no involucran personal calificado para cada tipo de tarea, esto debido en gran parte a la mayoría de empresas solo se dedican a la comercialización de una marca en específico y en algunas ocasiones proporcionan el servicio de venta de repuestos, pero no logran satisfacer todas las necesidades de mantenimiento en ciclo de vida del equipo. Todo esto se traduce en una posibilidad de negocio con excelentes oportunidades económicas

El procedimiento de verificación metrológica (paralelismos, perpendicularidad, planitud) se utiliza para dictaminar el correcto funcionamiento de su función principal de fresado; gracias a estas mediciones se dictamina la calidad geométrica de la además se detecta que en muchas de las mediciones esos errores admitidos son superados en gran proporción por los errores encontrados debido en gran parte a la falta de utilización instrumentos de medición a la hora del montaje e instalación de la fresadora.

Para el procedimiento de verificación de planitud de la mesa, se encuentra un desfase del 2100%, esto indica que dicha mesa, se encuentra totalmente fuera de rango admisible

El procedimiento de verificación de perpendicularidad y paralelismo de la mesa respecto al cabezal de fresado, no se llevó a cabo ubicando la escuadra patrón sobre la mesa como referencia debido a que esta última presentaba nivelación inadecuada por su mal montaje, lo que significaría una medición sobre una referencia invalida. La mala nivelación de la mesa se debe a su montaje ya que no se tuvo en cuenta estos parámetros a la hora de su construcción

El registro histórico y el seguimiento a cada variable son vitales a la hora de comprender el comportamiento de la fresadora y se debe llevar dicho registro para realizar futuros comparativos.

Paralelo al estudio de la máquina, elaboración del plan de mantenimiento, evaluación de proveedores, también se aprende el criterio y los parámetros técnicos necesarios para la compra de una fresadora de estas características, de tal forma, que se agilice y puntualice la comunicación con el proveedor en lo que se requiere (cliente) y lo que se ofrece (Proveedor)

Es importante aclarar que para poder generar estas actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias, se lleva a cabo una investigación fundamentada en fuentes bibliográficas, entrevistas con personal idóneo y calificado en el tema, artículos de internet, recomendaciones, videos, etc. Esto indica que para lograr este plan de mantenimiento, toda su fundamentación se basa en conocimiento multidisciplinarios, bajo diferentes perspectivas del mantenimiento.

En menos de seis meses de trabajo, se da por terminado el objetivo general del proyecto, que consiste en elaborar el plan de mantenimiento para la fresadora MFG del Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Eafit.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

Agredo, Eduardo. 2012. *¿Cómo medir calidad de energía?* [entrev.] Alexander Sánchez. Medellín, 27 de Febrero de 2012.

Cede. [www.cede.es](http://www.cede.es). [En línea] [Citado el: 7 de Febrero de 2012.] <http://es.scribd.com/doc/41539039/CeDe-Mecanizado-y-mantenimiento-de-maquinas-Tema-40-Mecanizado-por-fresado>.

Cruz, Francisco. 2007. *Control Numérico y Programación*. México D.F. : Alfaomega, 2007. 84-267-1359-9.

Engaña, Cristian, y otros. 2006. *Fresadora de Puente Fijo DYE FPF-D-N/C-3*. Santiago de Chile : s.n., 2006. pág. 93, Informe.

Gómez, Victor. 2012. *Reparacion Torno Miltronics*. [entrev.] Alexander Sánchez. Medellín, 22 de Febrero de 2012.

Groover, Mikell P. 1997. *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales Procesos y Sistemas*. s.l. : Prentice Hall Hispanoamerica, 1997. 9688808466.

Junta de Andalucía. Junta de Andalucía. [En línea] [Citado el: 7 de Febrero de 2012.]

[http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~04700107/departamentos/electricidad/el-ectromecanica/pagina\\_tmmdm/documentos/fresado\\_convencional.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~04700107/departamentos/electricidad/el-ectromecanica/pagina_tmmdm/documentos/fresado_convencional.pdf).

Kibbe, Richard R. 1995. *Manual de Fresadoras*. México D.F. : Limusa S.A., 1995. 968-18-2822-4.

Krar, Steve F., Gill, Arthur R. y Smid, Peter. 2009. *Tecnología de las Máquinas herramienta*. México D.F : Alfaomega, 2009. 978-607-7686-89-7.

Lucchesi, Domenico. 1973. *Verificación de Piezas y Máquinas y Herramientas*. Barcelona : Labor, 1973. 83339.

Millan Gómez, Simon. 2006. Procedimientos de Mecanizado. *Procedimientos de Mecanizado*. Madrid : Paraninfo, 2006.

Mobil. Quimica Petroil. [En línea] [Citado el: 30 de Enero de 2012.] <http://www.quimicapetroil.com.ar/productos/mobil/fichas/lubricac.html>.

NSK. [En línea] [Citado el: 7 de Febrero de 2012.] [http://pdf.directindustry.com/pdf/nsk-precision-america/k1-lubrication-units-equipped-linear-guide-for-food-and-medical-devices/17324-23414-\\_2.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/nsk-precision-america/k1-lubrication-units-equipped-linear-guide-for-food-and-medical-devices/17324-23414-_2.html).

Reparacio de Maquine Joal. [En línea] [Citado el: 4 de Febrero de 2012.] <http://www.reparacion-maquina.com/reparacion-maquina-herramienta.htm>.

Ruiz, Alejandro y Jhon, Castaño. 2011. *Informe Fresadora Restructuración General*. Medellín : s.n., 2011.

Sandvik, Coromant. 2006. Guía Técnica de Mecanizado. *Guía Técnica de Mecanizado*. 2006.

VIWA. [En línea] [Citado el: 29 de Noviembre de 2011.] <http://www.viwa.com.mx/default.htm>.

Wikipedia. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 16 de Febrero de 2012.] [http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_de\\_dispositivo](http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_de_dispositivo).